

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)
 Направление подготовки (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»
 Профиль «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»
 Отделение нефтегазового дела

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
«Расчет и проектирование центробежного секционного насоса с повышенным содержанием примесей »

УДК 622.276.054.23-047.74

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б5Е	Васильев Максим Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель (ОНД, ИШПР)	Беляев Дмитрий Владимирович			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОСГН	Жаворонок Анастасия Валерьевна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Черемискина Мария Сергеевна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Манабаев Кайрат Камитович	к.ф.-м.н, доцент		

Планируемые результаты обучения

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</i>	<i>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</i>
<i>В соответствии с общекультурными, общепрофессиональными и профессиональными компетенциями</i>		
P1	Приобретение профессиональной эрудиции и широкого кругозора в области гуманитарных и естественных наук и использование их в профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4, ОК-5, ОК-7) (ЕАС-4.2а) (АВЕТ-3А)
P2	Уметь анализировать экологические последствия профессиональной деятельности в совокупности с правовыми, социальными и культурными аспектами и обеспечивать соблюдение безопасных условий труда	Требования ФГОС ВО (ОК-3, ОК-4, ОК-7, ОК-9) ПК-4, ПК-5, ПК-13, ПК-15.
P3	Уметь самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4, ОК-7, ОК-8, ОК-9) (АВЕТ-3i), ПК1, ПК-23, ОПК-6, ПК-23
P4	Грамотно решать профессиональные инженерные задачи с использованием современных образовательных и информационных технологий	Требования ФГОС ВО (ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6) (ЕАС-4.2d), (АВЕТ3e)
<i>в области производственно-технологической деятельности</i>		
P5	Управлять технологическими процессами, эксплуатировать и обслуживать оборудование нефтегазовых объектов	Требования ФГОС ВО (ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-7, ПК-8, ПК-9, ПК-10, ПК-11, ПК-13, ПК-14, ПК-15)
P6	внедрять в практическую деятельность инновационные подходы для достижения конкретных результатов	Требования ФГОС ВО (ПК-1, ПК-5, ПК-6, ПК-10, ПК-12)
<i>в области организационно-управленческой деятельности</i>		
P7	Эффективно работать индивидуально и	Требования ФГОС ВО

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</i>	<i>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</i>
	<i>в коллективе по междисциплинарной тематике, организовывать работу первичных производственных подразделений, обеспечивать корпоративные интересы и соблюдать корпоративную этику</i>	<i>(ОК-5, ОК-6, ПК-16, ПК-18) (ЕАС-4.2-h), (АВЕТ-3d)</i>
P8	<i>Осуществлять маркетинговые исследования и участвовать в создании проектов, повышающих эффективность использования ресурсов</i>	<i>Требования ФГОС ВО (ПК-5, ПК-14, ПК17, ПК-19, ПК-22)</i>
<i>в области экспериментально-исследовательской деятельности</i>		
P9	<i>Определять, систематизировать и получать необходимые данные для экспериментально-исследовательской деятельности в нефтегазовой отрасли</i>	<i>Требования ФГОС ВО (ПК-21, ПК-23, ПК-24, ПК-25, ПК-26)</i>
P10	<i>Планировать, проводить, анализировать, обрабатывать экспериментальные исследования с интерпретацией полученных результатов с использованием современных методов моделирования и компьютерных технологий</i>	<i>Требования ФГОС ВО (ПК-22, ПК-23, ПК-24, ПК-25, ПК-26,) (АВЕТ-3b)</i>
<i>в области проектной деятельности</i>		
P11	<i>Способность применять знания, современные методы и программные средства проектирования для составления проектной и рабочей и технологической документации объектов бурения нефтяных и газовых скважин, добычи, сбора, подготовки, транспорта и хранения углеводородов</i>	<i>Требования ФГОС ВО (ПК-27, ПК-28, ПК-29, ПК-30) (АВЕТ-3с), (ЕАС-4.2-e)</i>

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»
 Отделение школы (НОЦ) Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ
 Руководитель ООП
 _____ Манабаев К.К.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврская работа

Студенту:

Группа	ФИО
2Б5Е	Васильеву Максиму Александровичу

Тема работы:

Расчет и проектирование центробежного секционного насоса с повышенным содержанием примесей	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	853/С от 04.02.2019

Срок сдачи студентом выполненной работы:	17.06.2019
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Графические материалы и тексты научно-исследовательских работ по центробежному секционному насосу, специальная и учебная литература
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Исследование устройства центробежных секционных насосов. Исследованы примеси содержащиеся в воде. Рассмотрено их влияние на износ оборудования. Рассчитаны основные параметры рабочего колеса. Проведен расчет скорости гидроабразивного износа межступенчатых уплотнений насоса

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
1. Литературный обзор 2. Общие сведения о ЦНС 3. Расчет рабочего колеса насоса ЦНС-180...600 4. Расчет скорости гидроабразивного износа межступенчатых уплотнений насоса	Старший преподаватель Беляев Дмитрий Владимирович
5. «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Ассистент Жаворонок Анастасия Валерьевна
6. «Социальная ответственность»	Ассистент Черемискина Мария Сергеевна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	6.02.2019 г.
---	--------------

Задание выдал руководитель / консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Беляев Дмитрий Владимирович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б5Е	Васильев Максим Александрович		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа ресурсов природных
 Направление подготовки (специальность) 21.03.01 «Нефтегазовое дело»
 Уровень образования Бакалавриат
 Отделение школы (НОЦ) Отделение нефтегазового дела
 Период выполнения Весенний семестр 2018/2019 учебного года
 Форма представления работы:

Бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	17.06.2019
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.02.2019	Литературный обзор	20
06.03.2019	Общие сведения о ЦНС	10
03.04.2019	Расчет рабочего колеса насоса ЦНС-180...600	20
30.04.2019	Расчет скорости гидроабразивного износа межступенчатых уплотнений насоса	20
14.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
28.05.2019	Социальная ответственность	10
11.06.2019	Оформление работы	10
	Итого	100

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Беляев Дмитрий Владимирович			

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Манабаев Кайрат Камитович	к.ф.-м.н.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2Б5Е	Васильеву Максиму Александровичу

Инженерная школа	Природных ресурсов	Отделение	Нефтегазового дела
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	21.03.01 «Нефтегазовое дело» профиль «Машины и оборудование»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	1. Насос ЦНС 180, предназначенный для перекачивания воды с повышенным содержанием примесей. Применяется в системах повышения пластового давления.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды	Проанализировать вредные факторы: - превышение уровня шума и вибрации при работе; - воздействие климатических условий; - загрязнение воздушной среды; - неблагоприятные метеорологические условия; Приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ) и предлагаемых средств защиты.
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды	Проанализировать опасные факторы: - преждевременное разрушение рабочих конструкций, вследствие влияния внешнего воздействия, коррозии, низких температур; - высокие давления, большие массы горючих жидкостей, агрессивные и токсичные вещества; - взрывоопасность; - пожароопасность; - поражение электрическим током
3. Экологическая безопасность: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	Охрана окружающей среды: - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	Защита в чрезвычайных ситуациях: - перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; - выбор наиболее типичной ЧС; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 	В области охраны труда и безопасности жизнедеятельности трудовую деятельность регламентируют правовые, нормативные, инструктивные акты в области охраны труда и отраслевые документы

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Черемискина М.С.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б5Е	Васильев Максим Александрович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2Б5Е	Васильеву Максиму Александровичу

Инженерная школа	Природных ресурсов	Отделение школы (НОЦ)	Нефтегазового дела
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	21.03.01 «Нефтегазовое дело»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов проекта: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Разработка устава научно-технического проекта	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование и формирование бюджета проекта	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета проекта
4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проекта	Проведение оценки экономической эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет проекта
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности проекта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОСГН	Жаворонок А. В.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б5Е	Васильев Максим Александрович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 83 страниц, 4 рисунков, 11 таблиц, 3 графиков и 19 источников использованной литературы.

Ключевые слова: месторождение, пласт, вода, центробежный секционный насос, примеси, производственная безопасность, вредные и опасные производственные факторы, экологическая безопасность, пожарная и взрывная безопасность, экономическая эффективность.

Объектом исследования являются центробежные секционные насосы.

Цель работы: расчет и проектирование деталей ЦНС.

Рассмотрена и проанализирована технология добычи воды установками центробежных секционных насосов. В работе уделено внимание изучению вредного влияния различных примесей на работу центробежных секционных насосов. Произведен расчет основных параметров рабочего колеса. Рассмотрены вопросы влияния примесей на работу насоса.

Область применения: системы поддержания пластового давления.

Экономическая значимость данной работы заключается в том, что при уменьшении воздействия коррозионного и абразивного износа можно увеличить межремонтный период и удешевить фильтрацию воды.

Перечень обозначений и сокращений

Центробежный секционный насосаЦНС

Поддержание пластового давленияППД

Коэффициент полезного действияКПД

Рабочее колесоРК

Оглавление

Введение.....	14
1. Литературный обзор.....	16
2. Общие сведения о ЦНС	20
2.1. Описание конструкции и назначение насоса ЦНС-180.....	20
2.2. Принцип действия насосного агрегата типа ЦНС-180	24
2.3. Показатели надежности оборудования	27
2.4. Ремонт и обслуживание	31
2.5. Особенности эксплуатации центробежного насоса.....	32
3. Расчетная часть.....	35
3.1. Расчет раб. элемента (колеса) насоса ЦНС-180...600.....	35
3.2. Расчет скорости гидроабразивного износа межступенчатых уплотнений насоса.	49
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	55
4.1. Анализ конкурентных технических решений	55
4.2. SWOT	57
4.3. Планирование управления проектом.....	59
4.3.1. План проекта.....	59
4.3.2. Бюджет проекта.....	61
4.3.3. Специальное оборудование для проектных работ	62
4.3.4. Основная заработная плата	62
4.3.5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) ..	63
4.3.6. Накладные расходы	64
4.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования ..	64
4.5. Заключение по разделу	67
5. Социальная ответственность.....	69

5.1. Производственная безопасность	69
5.2. Анализ производственных факторов.....	70
5.2.1. Анализ вредных производственных факторов.....	70
5.2.2. Анализ опасных производственных факторов.....	72
5.3. Экологическая безопасность	75
5.4. Безопасность в ЧС	77
5.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности...	78
5.6. Вывод к разделу	80
Заключение	81
Список используемых источников:.....	82

Введение

На территории РФ и государств СНГ в комплексах поддержки пластового давления (ППД) чаще всего используются центробежные секционные насосы (ЦНС). Например, сейчас в нефтяную сферу уже было поставлено около 10 тыс. единиц насосных установок ЦНС-180, что составляет существенную долю от общего объема насосов, относящихся к комплексу ППД. Из-за нехватки классических нефтегазоносных областей и вследствие освоения восточно-сибирских месторождений, организации, занятые добычей нефти, постоянно нуждаются в данной разновидности насосов. Кроме того, нефтяники сегодня предъявляют особые требования к техническим характеристикам и качеству таких агрегатов.

Капремонт секционного насоса центробежного типа – дорогостоящий вид обслуживания, который обходится нефтедобывающей организации в несколько миллионов рублей. А учитывая то, что усредненное число данных насосов на предприятии достигает 60 единиц, то можно с легкостью рассчитать цену таких ремонтных работ. В результате сумма превышает себестоимость нефти. Известно, что в условиях современной экономики преимущественная задача любой коммерческой организации – получение предельно возможного финансового дохода. Предприятия этого добиваются посредством минимизации производственных расходов.

В ходе добычи нефти из подземных пластов в воде находится много химических и механических взвесей. Поэтому техника чаще ломается, а для фильтрации жидкости организация вынуждена возводить специальные очистные сооружения. Секционные насосы центробежного типа дают возможность перекачивать жидкости с повышенной концентрацией примесей и позволяют сэкономить финансовые и временные ресурсы на фильтрации, а также продлить срок службы оборудования до будущего капремонта.

Увеличение долговечности и надежности эксплуатируемых установок и машин – приоритетная задача каждого предприятия нефтегазовой и нефтедобывающей сфер, в которых условия применения оборудования

отличаются спецификой, трудоемкостью и повышенными нагрузками, что объясняется наличием абразивов, проникающих, невзирая на принимаемые защитные мероприятия, в узлы трения и механические детали. На условиях эксплуатации также оказывают воздействие механические и физические характеристики добываемой породы, а также температурные показатели среды.

1. Литературный обзор

Одним из важнейших органов насосной станции является рабочее колесо. Именно в этом элементе осуществляется преобразование энергии электродвигателя в энергию гидравлического типа перекачиваемой воды. Проточная зона данной детали устанавливается с помощью гидродинамического расчета, а высокие чистота поверхностей и точность производства – обязательные условия для обеспечения оптимальных эксплуатационных характеристик. Количество и размеры колес – основа всей насосной конструкции. [14]

От чистоты водопроводящих канальцев колеса зависит показатель гидравлических потерь. Результаты многочисленных экспериментов свидетельствуют о том, что снижение шероховатости поверхности канальцев рабочих колес до $Ra_{3,2}$ с $K_{ф12,5}$, без внесения корректировок в конструкцию, вызывают увеличение КПД насосного оборудования примерно на 3-4%.

В последнее время на предприятиях по ремонту и обслуживанию насосных станций рабочие колеса начали покрывать материалами на основе полимеров. Покрытие данного вида снижает потери рабочей мощности насосной станции и обеспечивает дополнительную защиту от износа и агрессивного химического воздействия.

Другой немаловажный показатель – устойчивость материала рабочих колес к воздействию коррозии в составе обрабатываемой воды. Для установления коррозионных характеристик жидкости применяется показатель pH. Он отражает уровень водородных ионов. С увеличением температурных показателей жидкости значение pH снижается. Обрабатываемая вода передвигается в канальцах колеса на высокой скорости. По этой причине материал рабочих колес обязательно должен иметь устойчивость к эрозии.

Чаще всего рабочие колеса насосов высоконапорного типа производятся из нержавеющей стали 3X16H15M3 или 20X13Л, стали углеродистой

25-Л или чугунов СЧ18-36. Из сплавов бронзы зачастую применяются марки Бр.ОЦ 10-2, Бр.АДН 10-4-4 и Бр.ОФ 10-1.

Коррозию формируют преимущественно растворенные в жидкости:

- углекислые газы;
- соли;
- кислотные растворы;
- щелочные растворы.

Взвеси механического плана – основной проблемный фактор, препятствующий продолжительной стабильной эксплуатации насосных установок с электрическими приводами.

В оборудовании типа ЦНС бывает 3 разновидности износа:

- износ осевых опорных поверхностей;
- износ радиальный;
- износ гидроабразивный.

Износ радиального типа отмечается вследствие проникновения абразивных частичек в промежуток между стационарными и вращающимися поверхностями, к примеру, между втулками-опорами и валом, между расточкой направляющего устройства и ступицей колеса. Чтобы появился радиальный износ, требуется воздействие радиального прижимающего усилия. Кроме того, в таком случае абразивные частички должны быть больше толщины слоя воды между поверхностями и меньше радиального зазора между стационарными и вращающимися элементами.

Изношенность опорных осевых поверхностей появляется в результате проникновения абразивных частичек между подпятников направляющего устройства и шайбой-опорой.

Появляющиеся при абразивной изношенности зазоры, а также функционирование насосной установки за пределами рабочей части параметры вызывают увеличение вибрационного воздействия, при котором дисбалансные усилия вызывают первичное замыкание прилегающих друг к другу поверхностей, между которыми появляется абразив, с уровнем

твердости по таблице Мооса от 6 до 8 баллов. Абразивная частичка вкупе с существенным прижимающим усилием трущихся поверхностей провоцируют катастрофический износ. В итоге за несколько дней у оборудования может наступить местный виброабразивный износ трущихся пар рабочих элементов ЭЦН.

Износ гидроабразивного типа представляет собой механический износ материала в итоге царапающего или режущего воздействия абразивных частичек, которые находятся в общем потоке перекачиваемой воды. Данная разновидность износа появляется при наличии в составе жидкости энергоактивных и больших частичек вследствие их соударения с рабочими поверхностями насосной установки.

К примеру, Шлюмберже эту проблематику в насосных станциях решает с применением ряда усовершенствований, включая использование более крепких материалов для изготовления насоса, с повышенной концентрацией хрома, никеля и некоторых иных добавок. В результате это дает уровень твердости по шкале Бринеля от 180 до 220 единиц. Данные усовершенствования также могут в себя включать упрочненный и конструктивно модернизированный ступичный диффузор и упорно-радиальные подшипники на валу.

Кроме того, значимым конструктивных компонентом насосного оборудования считаются межступенчатые уплотнения. Износ данных элементов вызывает протечки и уменьшение напора перекачиваемой жидкости. [14]

Материал, из которого изготавливаются эти уплотнения, должен иметь высокую коррозионную и эрозионную устойчивость и устойчивость против задиранья вместе с иным материалом колеса при контакте со стационарными и вращающимися частями или проникновении в щель включений металла. Для колес из стали и чугуна межступенчатые уплотнения часто производятся из чугуна марки СЧ 18-36. Стальные рабочие колеса используют уплотнения из стали марки 20Х13. Кроме того, кольца-

уплотнители нередко производятся из стали термообработанного типа марки 30X13. Разность сопрягаемых элементов в плане твердости должна составлять около HB 50. Кольца-уплотнители из стали марки 1X18H9T обладают повышенной эрозионной устойчивостью, но подвержены задиранию. Уплотнения из бронзы, напротив, при отличной стойкости к задиранию обладают весьма ограниченным сроком службы при функционировании вследствие эрозионного размыва. Неплохо справляется с задираньем сталь марки X17H2. При этом данный материал является достаточно долговечным. Для увеличения стойкости к эрозии межступенчатых уплотнений из нержавеющей стали или углеродистой стали неплохой результат дает сульфидирование материала твердым или жидким методом. Уплотнения из чугуна производятся также из низколегированного хромом материала с графитом (шаровидным), который имеет более высокую кавитационно-эрозионную устойчивость, чем стандартный чугун (серый).

2. Общие сведения о ЦНС

2.1. Описание конструкции и назначение насоса ЦНС-180.

Насосные установки ЦНС-180 (Рис. 1) – многоступенчатые, секционные, горизонтально направленные, с односторонним размещением рабочей колесной базы, оснащаются в соответствии с требованиями общепромышленного исполнения.

Установка ЦНС-180-500...900 А обладает такой маркировкой:

- Ц – центробежная;
- Н – насосная установка (насос);
- С – секционная;
- 180 – показатель номинальной подачи, который выражается в м³/час;
- цифровые символы после тире обозначают напор, который развивается насосной установкой в номинальном рабочем режиме (м);
- символ «А» означает, что постанова является агрегатной;
- после символа «А» отмечается климатическое исполнение «У» и группа расположения при использовании в соответствии с положениями ГОСТ 15150-69.

Насосные станции ЦНС-180 (высоконапорные) используются для перекачки жидкости, температура которой колеблется в пределах от +1-+80° С (274-318К), с размером абразивных частичек максимум 0,2 мм; для перемещения внутрь скважины подтоварной жидкости, которая используется с целью поддержания оптимального пластового давления.

Конструктивное исполнение установок вида ЦНС-180 проектировалось при учете изготовления на 1 корпусной основе сразу 3 модифицированных вариантов с нагнетающим давлением от 9,5 до 19 МПа.

Кроме того, допускается корректировка эксплуатационных характеристик с помощью минимизации количества ступеней (максимум 2) с монтажом проставочных втулок, без корректировки привязочных габаритов,

а также с балансировкой динамики ротора. Нормативы технического режима прописаны в ГОСТ 10407-88. [15]

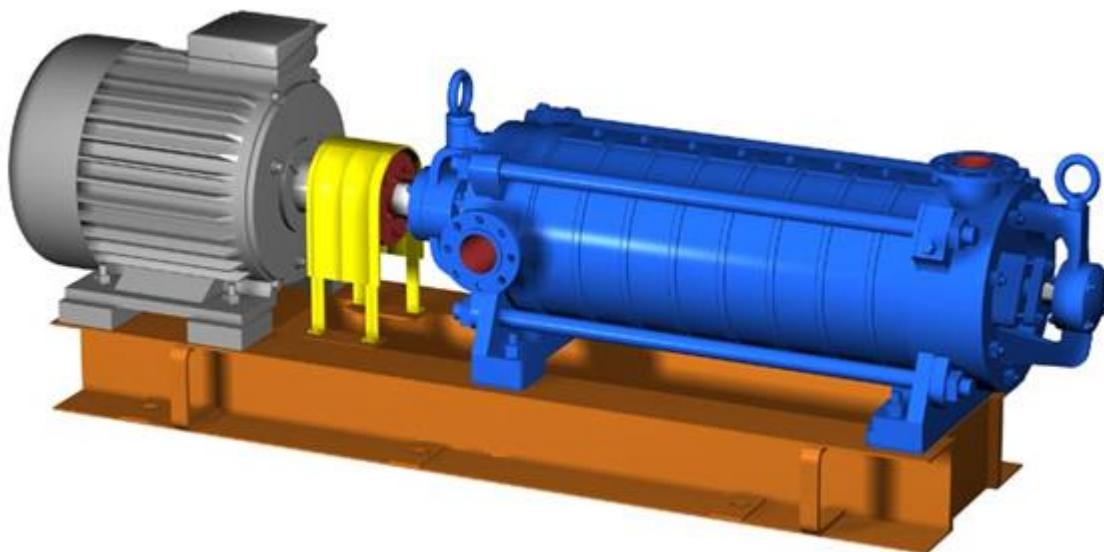


Рисунок 1 – Насосная станция типа ЦНС-180-М

Насос включает в свою конструкцию:

- кожух, защищающий муфту;
- фундаментную плиту;
- электрический привод (двигатель);
- насосный агрегат.

Насосные агрегаты ЦНС-180-500...900 производятся с числом секций в пределах 5-10 шт.

Самыми значимыми модулями конструкции насосной станции являются ротор и корпус. К последнему элементу можно отнести крышки всасывающих и нагнетающих линий, кронштейны (задний и передний), направляющие устройства. Нагнетающие и всасывающие крышки, корпуса направляющих устройств надежно фиксируются с помощью стяжных болтов. Направляющее устройство, рабочее колесо и уплотнительное кольцо формируют насосную секцию. Стыки конструкций направляющих устройств оснащены прорезиненными кольцами, которые сделаны из бензино-маслостойкой резины. Кольца обладают диаметром в 6, мм и средней степенью твердостью в соответствии с требованиями ГОСТ 6467-79. В той

связи, что корпус насосного агрегата включает в себя сразу несколько секций, существует возможность, не корректируя интенсивность подачи, настраивать уровень напора посредством выставления необходимого количества направляющих устройств и рабочих колес с корпусами. В таком случае изменяется лишь длина шпилек-стяжек и вала. Кронштейны-опоры насосной станции выполнены из чугуна или сплава на его основе. Корпус направляющего устройства, кольцо, втулка сальника произведены из специализированного прессовочного материала АГ-4В. Другие элементы конструкции сделаны из стали хромоникелевого типа. Ротор насосной установки включает в свою конструкцию вал с рабочими колесами, дистанционную втулку, рубашку вала, кольцо, кольца-регуляторы и разгрузочный диск. Каждый из элементов вала фиксируется с помощью роторной гайки. В качестве роторных опор выступают 2 радиальных подшипника сферической формы, которые стоят в заднем и переднем кронштейнах на посадке. Именно они дают ротору возможность передвигаться в осевой плоскости. Камеры подшипников оснащены манжетами-уплотнителями, которые стоят в подшипниковых крышках. Снаружи кронштейн прикрыт крышкой с устройством для регулировки смещения ротора. Точки выхода вала из камер и корпуса подшипников заделаны сальником.

В качестве роторных опор используются 2 подшипника радиального типа (N-215 в соответствии с требованиями ГОСТ 8338-75). Они смонтированы в кронштейны.

Камеры подшипников оснащены манжетами уплотнителями (1.2.95x120-2 в соответствии с ГОСТ 8752-79). Чтобы в камеры не попала влага, в них дополнительно устанавливаются так называемые отбойные кольца.

Осевая нагрузка ротора насосного агрегата разгружается с помощью гидравлической пяты. Уплотнения на концах ротора представлены торцевым или сальниковым типом. В качестве роторных опор использованы

скользящие подшипники с принудительной разновидностью смазки. Приводом насосного агрегата выступают асинхронные электрические моторы, мощность которых колеблется в пределах 500-2000 кВт. Движущая сила (крутящий момент) от электроприводов передается с помощью зубчатой муфты. Центробежные многосекционные насосные агрегаты оборудованы специальной системой автоматизированной сигнализации и защиты по наиболее важным характеристикам.

Насосный ротор начинает вращаться от электрического привода посредством упругой муфты (пальцево-втулочной), состоящей из пары полумуфт, которые соединены друг с другом прорезиненными втулками, монтированными на цилиндрические пальцы из стального сплава и надежно зафиксированными в полумуфте электрического привода. Насосный ротор вращается в правую сторону, если на него смотреть со стороны электрического привода. [16]

В настоящее время центробежные насосы секционного типа бывает 3 вариантов исполнения: износостойкое, коррозионностойкое, стандартное (обыкновенное). В последнем случае детали и проточная область уплотнений произведены из стального сплава 30Х13 и 20Х13. Напорные и входные крышки делаются из стали марки 25Л с наплавками из устойчивого к воздействию коррозии материала, а вал – из стального сплава марки 40ХФА. Эта разновидность насосного оборудования зачастую используется для откачки чистых жидкостей без сероводородных включений. Конструктивное исполнение центробежных многосекционных насосов определяется химическими и физическими характеристиками рабочей среды, а также условиями эксплуатации.

Конструктивное исполнение, устойчивое к коррозии, предполагает производство проточной части и элементов-уплотнителей из стальных сплавов ВНЛ и КС14. В таком случае вал изготавливается из стали марки 14Х17Н2. Коррозионностойкое исполнение насосного оборудования

применяется для откачки воды, концентрация сероводорода в которой достигает 100 мг/л.

При коррозио- и износостойком конструктивном исполнении элементы-уплотнители и проточная часть производятся из сплава марки 12Х18Н12М3ТЛ со специализированными наплавками. С использованием данной установки производится откачка воды с концентрацией сероводорода не более 300 мг/л. [17]

2.2. Принцип действия насосного агрегата типа ЦНС-180

Функционирование насосной установки основывается на взаимном функционировании лопастей крутящегося рабочего колеса и откачиваемой воды. В процессе вращения, рабочий элемент (колесо) отсылает круговое усилие воде, которая расположена между лопастями (лопатками).

После появления центробежного усилия вода от центральной зоны рабочего колеса отправляется к выходу во вне, а свободное пространство вновь заливается водой, которая идет от всасывающего трубопровода под влиянием формируемого разрежения. Покинув рабочее колесо секции №1, вода отправляется в каналы направляющего устройства, после чего попадает во второй рабочий элемент (колесо) с давлением, сформированным в секции №1. Оттуда вода отправляется в третий рабочий элемент с повышенным давлением, которое было сформировано в секции №2 и т.д.

Вода, которая вышла из последнего колеса, посредством направляющего устройства отправляется в нагнетающую крышку. Из нее она устремляется в нагнетательную трубу. В процессе функционирования насосной установки, вследствие давления жидкости на разные по площади поверхности по бокам рабочих элементов, формируется осевая нагрузка, устремляющаяся сместить насосный ротор по направлению всасывания. Чтобы сбалансировать осевую нагрузку в насосном агрегате находится специальное устройство разгрузки, состоящее из разгрузочной и дистанционной втулок, кольца и разгрузочного диска.

Вода, которая выходит из камеры разгрузки, уменьшает температуру сальника с направления нагнетания.

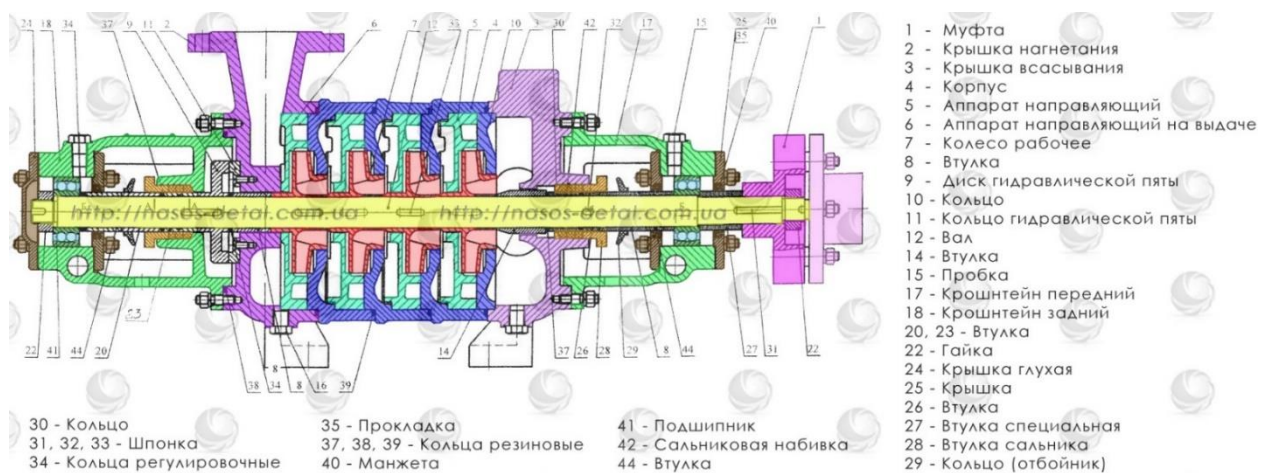


Рисунок 2 – Основные конструктивные элементы насосного агрегата ЦНС-180

Сальник, расположенный с направления всасывания, омывается водой, поступающей под высоким давлением из трубы всасывания. Вода, протекающая по рубашке вала из набивки сальника, предупреждает всасывание воздуха в насосном агрегате и наряду с этим обеспечивает эффективное охлаждение сальника. Основная доля воды протекает сквозь зазор, который расположен между гидрозатворной втулкой и рубашкой вала во всасывающую полость. Иная часть протекает между сальником и рубашкой вала с поверхности всасывания, обеспечивая уменьшение температуры. Другая часть устремляется наружу с помощью штуцера.

Затяжка сальникового элемента дает возможность перекачиваемой воде просочиться между набивкой сальника и валом наружу в объеме от 5 до 15 л/ч. Незначительный объем жидкости является следствием чрезмерного затягивания сальникового элемента, что обеспечивает повышение потерь на интенсивное трение и повышает износенность роторной гайки и рубашки вала. Насосный ротор вращается с помощью электрического провода, который подключен к насосному агрегату, например, с помощью пальцево-втулочной муфты, состоящей из пары полумуфт (электрического привода и непосредственно насоса) и пальцев, оснащенных прорезиненными втулками.

Насосный ротор вращается по часовой стрелке, если на него смотреть от электрического привода.

Электрический привод и насосный агрегат монтированы на одной фундаментной плите таким образом, что между двумя полумуфтами формируется интервал в 10 мм при насосном роторе, который сдвинут до отказа по направлению всасывания. Установка станции производится по ГОСТ 12.2.007.0-75. На поверхности корпуса насосного оборудования находится специальная табличка, на которой находится логотип предприятия-производителя, заводской номер, разновидность насосного оборудования, год изготовления, подача, напор, предельная высота всасывания, КПД, вес, используемая мощность и норматив технических условий. Стабильное функционирование насосного агрегата производится при условии верно подсоединенной системы обводнения, а также при наличии постоянной течи жидкости из трубы слива.

Воспрещается запуск насосных агрегатов без кожуха, защищающего муфту. Подтяжка и настройка сальниковых элементов осуществляется лишь при выключенном насосном агрегате. Насосные патрубки при перевозке и складировании должны быть запечатаны заглушками и иметь пломбы. Запчасти к насосному агрегату должны иметь маркировку и обозначения в соответствии с данными на чертежах.

В ходе отправки пользователям, электрический привод и насосный агрегат устанавливают на фундаментной плите, а муфта надежно прикрывается защитным кожухом. Насосная станция без электрического привода при отсылке устанавливается на специальных полозьях из древесины. Запчасти фиксируются к насосной станции с помощью крепкой проволоки. Эксплуатационные и технические документы фиксируются на верхней части нагнетающей или всасывающей крышки.

Перед запуском все внутренние плоскости насосного агрегата не подлежат расконсервации.

Как правило, электрический привод (СТД-6000/1600-23 УХЛ-4) должен быть правильно и полноценно заземлен. Стрелка, показывающая направление движения насосного ротора, должна иметь красную расцветку.

Воспрещается запускать насос, который ненадежно зафиксирован на фундаментной плите. [18]

2.3. Показатели надежности оборудования

Периодичность и потребность в осуществлении ремонтных работ зависят от уровня надежности агрегата. Под надежностью целесообразно понимать свойство того или иного изделия исполнять возложенные на него задачи, не теряя при этом эксплуатационные характеристики в установленных границах в течение установленного временного интервала.

В процессе разработки устройств для повышения и сохранения надежности оборудования необходимо добиться надежности всех отдельных элементов. В связи с тем, что на степень надежности элементов влияют эксплуатационные условия, увеличение данного показателя предполагает получение данных от организаций, которые пользуются оборудованием, и оценку причин поломки технологического оборудования. Дополнительно для определения надежности применяются специальные стендовые испытания.

Степень надежности технологического оборудования закладывается еще на этапах его разработки, производства и использования.

Преимущественные проблемы, связанные с обеспечением достаточной надежности, могут формулироваться так:

1. На проектировочном этапе – достижение одинаково высокой прочности каждого элемента агрегата или машины, идентификация самых оперативно изнашивающихся элементов и узлов, устранения зон сосредоточения напряжений, создание устройств-предохранителей, обеспечение пригодности устройства к ремонту.

2. На производственном этапе – применение действенных средств повышения прочности поверхностей трущихся деталей, полное соблюдение периодичности и точности обработки элементов, модернизация методик

контроля сборки и производства, применение повышенных требований к тестированию и сварке агрегата.

3. На эксплуатационном этапе – соблюдение требований по смазке, тщательный осмотр технического состояния, соблюдение режимов температуры и сроком ремонтных работ.

Показатель надежности сильно влияет на конструктивные особенности насосного агрегата. При сокращении количества конструктивных деталей уровень надежности оборудования повышается. В установке, имеющей сложную конструкцию, невозможно добиться одинаково высокой прочности каждого из конструктивных элементов.

Оценка уровня надежности в процессе проектирования возможна по тщательному анализу уровня надежности элементов оборудования, которые используются в схожих конструктивных решениях. Информация, скопленная по отказам и поломкам данных узлов, предполагает как список отказов, так и подробные сведения о причинах их возникновения. При этом указывается рабочая среда, при которой случались отказы. [16]

Более того, надежность является и экономической характеристикой. При увеличении расходов на производство агрегата для увеличения его уровня надежности, снижаются расходы на ремонтные работы в течение заявленного периода надежности работы агрегата. Общие финансовые расходы обладают минимальным значением, соответствующем оптимальному уровню надежности. С этой целью нужно не просто пытаться добиться надежности, но и обеспечить оптимальность. С учетом информации тех. паспорта, период службы машины (агрегата) составляет 10 лет.

Нормы, устанавливающие периоды осуществления ремонта и осмотра и очередность, являются следующими:

Т – 5040/360

К – 8640/1080

Установим уровень надежности насосного агрегата ЦНС-180:

1. Общая наработка до отказа (ч) – объем или длительность функционирования оборудования до его отказа (под отказом понимается событие, при котором оборудование работает с нарушением) – 8640 ч.

2. Регламентированный период до капремонта и период эксплуатации 8640 ч.

3. Период эксплуатации до списания оборудования (ч., мес., лет).

Период эксплуатации до списания оборудования – это нормируемый критерий надежности. Он устанавливается с помощью следующей формулы:

$$T_{\text{сп}} = \frac{T_p \cdot (n_k + 1)}{24 \cdot \Pi \cdot K_{\text{и}}}$$

где, T_p – общий ресурс службы до капремонта (8640 ч);

n_k – адекватное число капремонтов оборудования за все время его применения;

Π – число дней (рабочих) в году (не считая праздничных) (350 дней);

$K_{\text{и}}$ – коэффициент использования объекта. В случае с непрерывным эксплуатационным режимом данный показатель равняется 1.

$$T_{\text{сп}} = \frac{8640(1+1)}{24 \cdot 350 \cdot 1} = 2,04.$$

Установленный ресурс работы между восстановительными манипуляциями (операциями):

А) В интервалах между текущими ремонтными работами – 5040 ч.

5. Совокупная длительность плановых ремонтных работ (ч) за каждый цикл

$$t_{\text{рем}} = T_{nm} n_m + T_{nk} n_k n_m = 1$$

$$t_{\text{рем}} = 360 + 1080 = 1440$$

где T_{nk} - усредненная длительность 1 капремонта (1440 ч);

T_{nm} – усредненная длительность 1 текущего ремонта (360 ч);

n_m – число текущих ремонтных работ, которые запланированы на период эксплуатации оборудования ($1 \cdot 10^1$ лет = 10)

n_k – число капремонтов, запланированных на период эксплуатации оборудования ($1k^{10}$ лет = 10)

7. Коэффициент технологического использования ($K_{ти}$). ГОСТ 13377-75 определено, что данный показатель является следующим соотношением:

$$K_{ти} = \frac{t_p}{t_p + t_n + t_{mo}}$$

$$t_{п} = 1400 \text{ час.}$$

$$T_p = 8640 - 1440 = 7200$$

$$K_{ти} = \frac{7200}{7200+1440} = 0,83 \text{ т.е. } 83\%$$

где t_p - совокупная длительность простоя на ремонтных работах;

$t_{то}$ – общая длительность обслуживающих операций кроме длительности плановых капремонтов и текущих работ.

Данный коэффициент – основной показатель развития. Он дает возможность делать выводы относительно технического совершенства оборудования.

8. K_r (коэффициент готовности) по ГОСТ 27.002-89:

$$K_r = \frac{t_p}{t_p + t_n}$$

$$K_r = \frac{7200}{7200+1440} = 0,83 \text{ т.е. } 83\%.$$

Данный коэффициент является возможностью того, что оборудование будет работоспособным в течение произвольного временного периода, кроме запланированных сроков, при которых не предусмотрена эксплуатация объекта.

9. Заявленный (гарантированный) период эксплуатации – 86 400 ч. Данный показатель зачастую отмечается в техническом паспорте оборудования и подбирается в диапазоне между минимально возможным периодом, который обеспечивает конкурентную способность оборудования и нормой наработки до нарушения работоспособности (отказа).

2.4. Ремонт и обслуживание

Ремонт технологического оборудования предполагает несколько вариантов. Сюда входят планово-предупредительные ремонтные работы, осуществляющиеся через установленное число рабочих часов. К «минусам» данного вида ремонта относится пониженный коэффициент применение элементов (вследствие регулярного демонтажа), значительный объем работы и недостаточное применение индивидуальных ресурсов большей части конструктивных элементов. Кроме того, на случай неожиданного нарушения работоспособности, в своем арсенале обязательно нужно держать значительный обменный резерв запчастей. Иной вариант – ремонтные работы после нарушения работоспособности. Как правило, ремонт аварийного типа связан со значительными материальными (финансовыми) издержками: нарушение работоспособности машин и агрегатов вызывает негативные последствия, которые сопровождаются значительным и быстрым уменьшением объемов перекачиваемой жидкости, продолжительный простой насосной станции и уменьшение степени безопасности использования оборудования.

Самой оптимальной разновидностью ремонта считается починка по состоянию. Организация постоянного контроля и анализа эксплуатационных характеристик, определяющих техническое состояние и работоспособность элементов, дает возможность поддерживать оптимальную степень их надежности при использовании. Детали заменяются лишь в том случае, если показатель предполагаемой характеристики приближается к максимальному значению. Данный тип ремонтных работ дает возможность уменьшить трудозатраты на техническое обслуживание и затраты на приобретение дорогостоящих запчастей и узлов. При этом усредненная наработка функциональных элементов между заменами повышается в 1,5-2 раза, а расходы на восстановление функционального состояния и ремонт узлов, напротив, уменьшаются в 1,5 раза.

2.5. Особенности эксплуатации центробежного насоса

С учетом требований инструкции предприятия-производителя по уходу и обслуживанию насосных станций, а также с учетом локальных условий использования должна разрабатываться индивидуальные указания и инструкции, связанные с уходом и техобслуживанием. В этих документах определяются точные сроки организации ревизий и проверок, а также мероприятий по ремонту и техобслуживанию. При этом для каждой насосной установки нужно заводить отдельную книгу или журнал эксплуатации, с помощью которых можно установить состояние оборудования, определить потребность в организации ревизии и ремонта. Необходимо систематически проверять готовность насосного оборудования из резервного фонда, чтобы их можно было при необходимости оперативно ввести в эксплуатацию.

В процессе монтажа насосных станций на открытых территориях необходимо учитывать потребность в постоянном прогреве в условиях низких температурных показателей (заморозки), в ходе стоянки, а также регулярное опорожнение от воды труб и насосных агрегатов. Запуск насосной станции в холодном виде при перекачке воды с разной степенью вязкости воспрещается, т.к. это может отрицательно отразиться на работоспособности насосного оборудования. Более того, нужно разработать все необходимые указания для организации мероприятия по техобслуживанию насосного оборудования.

Первичную замену масляной смеси и очистку полостей внутри подшипников со смазкой жидкого типа осуществляются лишь после 200 ч непрерывной эксплуатации. Последующую замену масляной смеси выполняются по истечении 1500-2000 ч, но как минимум 1 раз в 12 месяцев. При эксплуатации масел высочайшего качества (турбинного) длительность эксплуатации между заменами может быть больше.

При эксплуатации муфт, обладающих маслянистой смазкой, спустя 500-600 ч использования проверяют маслянистую смесь на предмет наличия образования шлаков. При необходимости смесь доливается. Масло

нужно менять лишь через 3000 ч непрерывного использования насосного оборудования.

На практике популярностью пользуется методика регулирования функционирования ЦНС с использованием обточки рабочего элемента (колеса). Известно, что насосный напор зависит (квадратично) от диаметра колеса, поэтому, регулируя диаметр этого колеса посредством обточки, появляется возможность регулировать и эксплуатационные характеристики насосного оборудования.

Чтобы добиться оптимального напора ЦНС посредством обточки рабочего элемента, нужно нормированный показатель напора умножить на квадратичное значение отношения диаметра сточенного колеса к нормированному диаметру. Кроме того, настраивать функционирование ЦНС можно и посредством регулировки сопротивления в электросети.

Для регулировки функционирования насосного оборудования в обширном диапазоне, можно изменять условия функционирования насосной станции на электросеть.

Из графически представленного напорного параметра НС, которая является пологой кривой, можно увидеть, что с повышением подачи снижается напор и наоборот. Каждая конструкция насосного оборудования обладает своей зоной нормированного функционирования, являющейся энергетическим параметром, устанавливающим предельный показатель КПД и крутизну.

Рабочая точка на данной кривой отражает предельный показатель КПД насосной установки. Место расположения этой точки на характеристике зависит от сопротивления электрической сети. При изменении сопротивления электрической сети, к примеру, при закрытии задвижки на линии напора, точка начнет смещаться в левую сторону по кривой в границах рабочей области, т.е. насосная станция центробежного типа будет отдавать предпочтение режиму функционирования на минимальной подаче, т.к. она

«вынуждена» функционировать с большим напором, иначе у нее не получится справиться со вспомогательным сопротивлением задвижки.

Иная методика смены условий функционирования насосной станции на электросеть – байпасирование. Она собой представляет монтаж нерегулируемого или регулируемого байпаса (перепуска) с линии напора на всасывание.

У насосного оборудования при байпасировании осуществляется повышение подачи (при учете количества воды, которая возвращается во всасывающую линию) и сопутствующее уменьшение напора.

В сети потребителя байпасирование вызывает уменьшение подачи. В итоге в ней одновременно получается минимальную напор и минимальную подача, т.к. энергия воды уходит на сброси.

Уменьшение напора посредством перепуска воды на всасывающую линию с напорной вызывает уменьшение напора примерно на 10-30%, в зависимости от крутизны характеристики напора насосной станции.

3. Расчетная часть

3.1. Расчет раб. элемента (колеса) насоса ЦНС-180...600[13]

Исходная информация:

- агрегат ЦНС-180...600;
- подача насосной установки: $Q = 0,05 \text{ м}^3/\text{с}$, $Q = 180 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- уровень напора агрегата: $H=600 \text{ м}$;
- частота, с которой вращается насосный вал: $n=2950 \text{ об./мин}$;
- температурные показатели жидкости: $t=30 \text{ }^\circ\text{C}$;
- количество потоков (параллельных) в насосном агрегате: $i_Q = 1$;
- количество ступеней насосного оборудования: $i_H = 5$;
- степень плотности среды при указанной температуре: $\rho = 995,68 \text{ кг/м}^3$;
- УСП (ускорение свободного падения): $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Подача рабочего колеса (Q_1 , $\text{м}^3/\text{с}$)

$$Q_1 = \frac{Q}{i_Q},$$

$$Q_1 = \frac{0,05}{1} = 0,05$$

Напор (H_1 , м)

$$H_1 = \frac{H}{i_H},$$

$$H_1 = \frac{600}{5} = 120$$

Кэфф. Быстроходности насосной установки

$$n_s = 3.65 * n * \frac{\sqrt[3]{Q_1}}{H_1^{\frac{3}{4}}},$$

$$n_s = 3,65 * 2950 * \frac{\sqrt[3]{0.05}}{120^{\frac{3}{4}}} = 66,41$$

в связи с тем, что. $n_s = 66,41$, то разновидность насосной станции является тихоходной центробежной является центробежный тихоходный.

Показатель угловой скорости (ω , рад/с)

$$\omega = \frac{\pi * n}{30},$$

$$\omega = \frac{\pi * 2950}{30} = 308,92$$

Установленный диаметр колеса (D_{1np} , мм)

$$D_{1np} = 4 * \sqrt[3]{\frac{Q_1}{n}},$$

$$D_{1np} = 4 * \sqrt[3]{\frac{0,05}{2950}} = 102,7$$

КПД (гидравлический) насосной станции

$$\eta_{\Gamma} = 1 - \frac{0,42}{(\lg D_{1np} - 0,172)^2},$$

$$\eta_{\Gamma} = 1 - \frac{0,42}{(\lg 102,7 - 0,172)^2} = 0,88$$

Теоретический уровень напора насосной станции (H_T , м)

$$H_T = \frac{H_1}{\eta_{\Gamma}},$$

$$H_T = \frac{120}{0,88} = 136,36$$

Объемный показатель КПД насосной установки

$$\eta_{об} = \frac{1}{1 + (0,68 * n_s^{-\frac{2}{3}})},$$

$$\eta_{об} = \frac{1}{1 + (0,68 * 66,41^{-\frac{2}{3}})} = 0,96$$

Теоретическая подача (Q_T , м³/с)

$$Q_T = \frac{Q_1}{\eta_{об}},$$

$$Q_T = \frac{0,05}{0,96} = 0,052$$

Показатель механического КПД с учетом дискового трения

$$\eta_{д.т.} = \frac{1}{1 + \frac{820}{n_s^2}}$$

$$\eta_{д.т.} = \frac{1}{1 + \frac{820}{66,41^2}} = 0,84$$

КПД механического плана с учетом потери на трение в сальниках и подшипниках,

$$\eta_{мпс} = 0,95$$

Совокупный КПД

$$\eta = \eta_{об} * \eta_{Г} * \eta_{д.т.} * \eta_{мпс}$$

$$\eta = 0,96 * 0,88 * 0,84 * 0,95 = 0,67$$

Показатель мощности насосной установки (N, кВт)

$$N = \frac{\rho * Q * H * g}{\eta * 1000},$$

$$N = \frac{995,68 \cdot 0,05 \cdot 600 \cdot 9,81}{0,67 \cdot 1000} = 437,36$$

➤ При учете перегрузки

$$N_{max} = 1,15 * N,$$

$$N_{max} = 1,15 \cdot 437,36 = 502,96 \text{ кВт}$$

Величина скорости жидкости в сечении на входе раб. колеса в первичном приближении (C_0 , м/с)

$$C_0 = 0,08 * \sqrt[3]{Q_T * n^2},$$

$$C_0 = 0,08 \cdot \sqrt[3]{0,052 \cdot 2950^2} = 6,14$$

Диаметр насосного вала (d_B , мм)

$$d_B = 200 * \sqrt[3]{\frac{N_{max}}{n}},$$

$$d_B = 200 \cdot \sqrt[3]{\frac{502.96}{2950}} = 110,9$$

Диаметр колесной втулки (d_{BT} , мм)

$$d_{BT} = 1,2 * d_B,$$

$$d_{BT} = 1,2 \cdot 110,9 = 133,08$$

Диаметр входящей в колесо воды (D_0 , м)

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 * Q_T}{\pi * C_0} + d_{BT}^2},$$

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,052}{\pi \cdot 6,14} + \left(\frac{133,08}{1000}\right)^2} = 0,1688$$

Круговая скорость на входе в колесо (u_1 , м/с)

$$u_1 = \frac{\pi * D_1 * n}{60},$$

$$u_1 = \frac{\pi \cdot 0,135 \cdot 2950}{60} = 20,85$$

где, D_1 является диаметром входа воды на рабочие лопасти;

$$D_1 = 0,8 * D_0$$

Финальное значение скорости (C_0 , м/с)

$$C_0 = \frac{4 * Q_T}{\pi * (D_0^2 - d_{BT}^2)},$$

$$C_0 = \frac{4 \cdot 0,052}{\pi \cdot (0,1688^2 - 0,13308^2)} = 6,14$$

Коэффициент стеснения жидкостного потока на входе в раб. колесо K_1 принимаем

$$K_1 = 1.1$$

Меридианный элемент на радиусе входа (C_{1m} , м/с)

$$C_{1m} = K_1 * C'_{1m},$$

$$C_{1m} = 1,1 \cdot 6,14 = 6,75$$

где, применяем $C'_{1m} = C_0$.

Угол входа (безударного) на лопатку (град.)

$$\operatorname{tg} \beta_{1,0} = \frac{C_{1m}}{u_1},$$

$$\beta_{1,0} = \operatorname{arctg} \frac{6,75}{20,85} = 17,94$$

Угол входа лопатки (град.)

$$\beta_1 = \beta_{1,0} + i,$$

$$\beta_1 = 17,94 + 6 = 23,94$$

где i – угол атаки ($i=6$).

Ширина входного канала (b_1 , м)

$$b_1 = \frac{Q_T}{\pi * D_1 * C'_{1m}},$$

$$b_1 = \frac{0,052}{\pi \cdot 0,135 \cdot 63,14} = 0,01997$$

Коэффициент значения окружной скорости на выходе из колеса

K_{u_2}

Для стандартных моделей центробежного колеса принимаем

$$K_{u_2} = 0.5$$

Значение окружной скорости на внешнем диаметре колеса в первичном приближении (u_2 , м/с)

$$u_2 = \sqrt{\frac{g * H_T}{K_{u_2}}},$$

$$u_2 = \sqrt{\frac{9,81 \cdot 136,36}{0,5}} = 51,72$$

Внешний диаметр раб. колеса в первичном приближении (D_2 , м)

$$D_2 = \frac{2 \cdot u_2}{\omega},$$
$$D_2 = \frac{2 \cdot 51,72}{308,92} = 0,3348$$

Коэффициент стеснения жидкостного потока на выходе из раб. колеса

$$K_2 = 1.1$$

Меридианная составляющая значений абсолютной скорости (C'_{2m} , м/с,) на выходе из рабочего колеса принимается в диапазоне

$$C'_{2m} = 0,8 \cdot C_0$$
$$C'_{2m} = 0,8 \cdot 6,14 = 4,912$$

Угол выхода лопасти (β_2) определяем по зависимости

$$\sin \beta_2 = \frac{w_1}{w_2} \cdot \frac{K_2}{K_1} \cdot \sin \beta_1 \cdot \frac{C'_{2m}}{C'_{1m}},$$

где соотношение скоростей относительного плана $\frac{w_1}{w_2} = 1$.

$$\beta_2 = \arcsin\left(1 \cdot \frac{1,1}{1,1} \cdot \sin 23,94 \cdot \frac{4,912}{6,14}\right) = 18,94$$

Количество функционирующих лопастей z

$$z = 6,5 \cdot \frac{R_2 + R_1}{R_2 - R_1} \cdot \sin \frac{\beta_1 + \beta_2}{2},$$

где R_2 и R_1 являются радиусами диаметров

$$z = 6,5 \cdot \frac{0,1674 + 0,0675}{0,1674 - 0,0675} \cdot \sin \frac{23,94 + 18,94}{2} = 5,6$$

т.к. количество лопастей должно составлять целое значение, то определяет $z=6$

Коэффициент технологический

$$\psi = 0,55 + 0,6 \cdot \sin \beta_2,$$
$$\psi = 0,55 + 0,6 \cdot \sin 18,94 = 0,74$$

Корректив (P), который учитывает итоговое количество лопастей

$$P = \frac{2 * \psi}{z} * \left[\frac{1}{1 - \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2} \right],$$

$$P = \frac{2 * 0,74}{6} * \left[\frac{1}{1 - \left(\frac{0,135}{0,3348} \right)^2} \right] = 0,29$$

Теоретический уровень напора при неограниченном количестве лопастей ($H_{T\infty}$, м)

$$H_{T\infty} = (1 + P) * H_T,$$

$$H_{T\infty} = (1 + 0,29) * 136,36 = 176,21$$

Значение окружной скорости на выходе из рабочего колеса (u_2 , м/с)

$$u_2 = \frac{C_{2m}}{2 * \operatorname{tg} \beta_2} + \sqrt{\left(\frac{C_{2m}}{2 * \operatorname{tg} \beta_2} \right)^2 + g * H_{T\infty}},$$

$$\text{где } C_{2m} = C'_{2m} * K_2.$$

$$C_{2m} = 4,912 * 1,1 = 5,4$$

$$u_2 = \frac{5,4}{2 * \operatorname{tg} 18,94} + \sqrt{\left(\frac{5,4}{2 * \operatorname{tg} 18,94} \right)^2 + 9,81 * 176,21} = 50,18$$

Выходной диаметр рабочего колеса (D_2 , м) во вторичном приближении

$$D_2 = \frac{2 * u_2}{\omega},$$

$$D_2 = \frac{2 * 50,18}{308,92} = 0,3249$$

Ширина выходного канала (b_2 , м)

$$b_2 = \frac{Q_T}{\pi * D_2 * C_{2m}},$$

$$b_2 = \frac{0,052}{\pi \cdot 0,3249 \cdot 5,4} = 0,0094$$

Коэффициент выходного стеснения (проверка)

$$K'_2 = \frac{1}{1 - \frac{z * \delta}{\pi * D_2 * \sin \beta_2}},$$

где δ - толщина лопасти, устанавливаем $\delta = 0,005$.

$$K'_2 = \frac{1}{1 - \frac{5 \cdot 0,005}{\pi \cdot 0,3249 \cdot \sin 18,94}} = 1,08$$

Если сравнить значения $K_2 = 1.1$ и $K'_2 = 1.08$, то разница составит менее 5%.

Коэффициент входного стеснения жидкости в раб. колесе

$$K'_1 = \frac{1}{1 - \frac{z * \delta}{\pi * D_1 * \sin \beta_1}},$$

где δ - толщина лопасти, устанавливаем $\delta = 0,005$.

$$K'_1 = \frac{1}{1 - \frac{5 \cdot 0,005}{\pi \cdot 0,135 \cdot \sin 23,94}} = 1,17$$

Сравнивая значения $K'_1 = 1.17$ и $K_1 = 1.1$, они не являются совпадающими. Следовательно, рассчитываем с 21 пункта принимая $K_1 = K'_1$.

Меридианная составляющая на радиусе входа (C_{1m} , м/с)

$$C_{1m} = K_1 * C'_{1m},$$

$$C_{1m} = 1,17 \cdot 6,14 = 6,9996$$

где, устанавливаем $C'_{1m} = C_0$.

Угол входа (безударного) на лопатку (град.)

$$\operatorname{tg} \beta_{1,0} = \frac{C_{1m}}{u_1},$$

$$\beta_{1,0} = \operatorname{arctg} \frac{6.9996}{20.85} = 18.56$$

Угол входа лопатки (град.)

$$\beta_1 = \beta_{1,0} + i,$$

$$\beta_1 = 18.56 + 6 = 24.56$$

где, i является углом атаки, устанавливаем $i = 6$.

Ширина входного канала (b_1 , м)

$$b_1 = \frac{Q_T}{\pi * D_1 * C'_{1m}},$$

$$b_1 = \frac{0,052}{\pi * 0,135 * 6.,9996} = 0,0018$$

Выходной угол лопасти (β_2), устанавливаем по зависимости

$$\sin \beta_2 = \frac{w_1}{w_2} * \frac{K_2}{K_1} * \sin \beta_1 * \frac{C'_{2m}}{C'_{1m}},$$

где соотношение скоростей относительного плана $\frac{w_1}{w_2} = 1$.

$$\beta_2 = \arcsin(1 * \frac{1,1}{1,17} * \sin 24,56 * \frac{4,912}{6,14}) = 18,22$$

Количество функционирующих лопастей z

$$z = 6.5 * \frac{R_2 + R_1}{R_2 - R_1} * \sin \frac{\beta_1 + \beta_2}{2},$$

где R_2 и R_1 являются радиусами диаметров

$$z = 6.5 * \frac{0.1674 + 0.0675}{0.1674 - 0.0675} * \sin \frac{24.56 + 18.22}{2} = 5.6$$

в той связи, что количество лопастей должно быть целым, то устанавливаем $z=6$

Коэффициент технологический

$$\psi = 0,55 + 0,6 * \sin \beta_2,$$

$$\psi = 0.55 + 0.6 * \sin 18.22 = 0.74$$

Корректив (P), который учитывает конечное количество лопастей

$$P = \frac{2 * \psi}{z} * \left[\frac{1}{1 - \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2} \right],$$

$$P = \frac{2 * 0.74}{6} * \left[\frac{1}{1 - \left(\frac{0.135}{0.3348} \right)^2} \right] = 0.29$$

Теоретический уровень напора при неограниченном количестве лопастей ($H_{T\infty}$, м)

$$H_{T\infty} = (1 + P) * H_T,$$

$$H_{T\infty} = (1 + 0.29) * 136.36 = 175.9$$

Значение окружной скорости на выходе из раб. колеса (u_2 , м/с,)

$$u_2 = \frac{C_{2m}}{2 * \operatorname{tg} \beta_2} + \sqrt{\left(\frac{C_{2m}}{2 * \operatorname{tg} \beta_2} \right)^2 + g * H_{T\infty}},$$

где $C_{2m} = C'_{2m} * K_2$.

$$C_{2m} = 4.91 * 1.1 = 5.4$$

$$u_2 = \frac{5.4}{2 * \operatorname{tg} 18.22} + \sqrt{\left(\frac{5.4}{2 * \operatorname{tg} 18.22} \right)^2 + 9.81 * 175.9} = 50.54$$

Выходной диаметр колеса (D_2 , м) во вторичном приближении

$$D_2 = \frac{2 * u_2}{\omega},$$

$$D_2 = \frac{2 * 50.54}{308.92} = 0.3271$$

Ширина выходного канала (b_2 , м,)

$$b_2 = \frac{Q_T}{\pi * D_2 * C_{2m}},$$

$$b_2 = \frac{0.052}{\pi * 0.3272 * 5.4} = 0.0094$$

Коэффициент выходного стеснения (проверка)

$$K'_2 = \frac{1}{1 - \frac{z * \delta}{\pi * D_2 * \sin \beta_2}},$$

где δ является толщиной стеной лопасти, устанавливаем $\delta=0,005$.

$$K'_2 = \frac{1}{1 - \frac{5 * 0.005}{\pi * 0.3274 * \sin 18.22}} = 1.08$$

Сравнивая значения $K'_2 = 1.08$ и $K_2 = 1.1$ разница с заданной точностью меньше 5%.

Коэффициент входного стеснения жидкости в рабочем колесе

$$K'_1 = \frac{1}{1 - \frac{z * \delta}{\pi * D_1 * \sin \beta_1}},$$

где δ является толщиной стеной лопасти, устанавливаем $\delta=0,005$.

$$K'_1 = \frac{1}{1 - \frac{5 * 0.005}{\pi * 0.135 * \sin 24.56}} = 1.195$$

Сравнивая значения $K'_1 = 1.165$ и $K_1 = 1.17$, они совпадают с заданной точностью.

Уточнение

$$w_1 = K_1 * \frac{C'_{1m}}{\sin \beta_1}; \quad w_2 = K_2 * \frac{C'_{2m}}{\sin \beta_2}.$$

$$w_1 = 1.17 * \frac{6.14}{\sin 24.56} = 17.28$$

$$w_2 = 1.1 * \frac{4.912}{\sin 18.22} = 17.28$$

Производим сравнение

$$\frac{w_1}{w_2} = \left(\frac{w_1}{w_2} \right)'$$

В итоге получается, что это соотношение равняется с установленной точностью.

Расчет протечек из уплотнения раб. колеса спереди (Q_{si} , м.)

$$Q_{si} = 2 * \mu * \pi * R_y * \delta_r * \sqrt{2 * g * \Delta H_i}$$

где μ - расходный коэффициент;

R_y – колесный радиус в зоне уплотнения (м);

δ_r – зазор (радиальный) в уплотнении (м);

ΔH_i – уменьшение (изменение) уровня напора в зазоре (м).

Изменение уровня напора в зазоре (ΔH_i , м)

$$\Delta H_i = H_T - \frac{\omega^2}{8 * g} * (R_2^2 - R_y^2),$$

$$\text{где } R_y = \frac{D_0}{2} + 0.006 = \frac{0.1688}{2} + 0.006 = 0.09$$

$$\Delta H_i = 136.36 - \frac{308.92^2}{8 * 9.81} * (0.1674^2 - 0.09^2) = 112.13$$

Коэффициент расхода μ для стандартного щелевого уплотнения

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\frac{\lambda * l}{2 * \delta_r} + 1,5}}$$

где λ – коэффициент трения, принимаем $\lambda = 0,06$; l – длина щели,
 $l \geq 0,02$ м.

Радиальный зазор $\delta_r = 0,00025$ м.

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\frac{0.006 * 0.02}{2 * 0.00025} + 1.5}} = 0.51$$

$$Q_{si} = 2 * \mu * \pi * R_y * \delta_r * \sqrt{2 * g * \Delta H_i}$$

$$Q_{si} = 2 * 0.51 * \pi * 0.09 * 0.00025 * \sqrt{2 * 9.81 * 112.13} = 0.0033$$

Проверка КПД объемного типа

$$\eta'_{об} = \frac{Q}{Q_s + Q};$$

$$\eta'_{об} = \frac{0.05}{0.0033 + 0.05} = 0.94$$

Сравниваем $\eta'_{об} = 0.94$ и $\eta_{об} = 0,96$. Делаем вывод, что погрешность по части КПД лежит в диапазоне 5%.

Выстраиваем меридианное сечение рабочего элемента (колеса)

Устанавливаем радиальное приращение $\Delta r_i = 5$ мм. как бмм
 $i = 1 \dots 10$

$$R(i) = \frac{D_1}{2} + \Delta * i \quad C(i) = C'_{1m} - i * \frac{C'_{1m} - C'_{2m}}{10}$$

$$b(i) = \frac{Q_t * 10^9}{3.14 * 2 * R(i) * C(i) * 10^3}$$

Рассчитываем РК на кавитацию

- коэффициент опытный $m = 1$;
- коэффициент опытный $\lambda = 0,3$.
- предельный запас (кавитационный) ($\Delta h_{кр}$, м)

$$\Delta h_{кр} = m * \frac{C_0^2}{2 * g} + \lambda * \frac{w_1^2}{2 * g};$$

$$\Delta h_{кр} = 1 * \frac{6.14^2}{2 * 9.81} + 0.3 * \frac{17.28^2}{2 * 9.81} = 6.5$$

Коэффициент (кавитационный) быстроходности, С

$$C = 5.62 * \frac{n * \sqrt{Q}}{\Delta h_{кр}^{\frac{3}{4}}};$$

$$C = 5.62 * \frac{2950 * \sqrt{0.05}}{8.39^{\frac{3}{4}}} = 910.7$$

Предельный запас кавитации ($\Delta h_{доп}$, м)

$$\Delta h_{доп} = A * \Delta h_{кр};$$

где А – коэфф. запаса, устанавливаем $A=1,15$

$$\Delta h_{доп} = 1.15 * 6.5 = 7.5$$

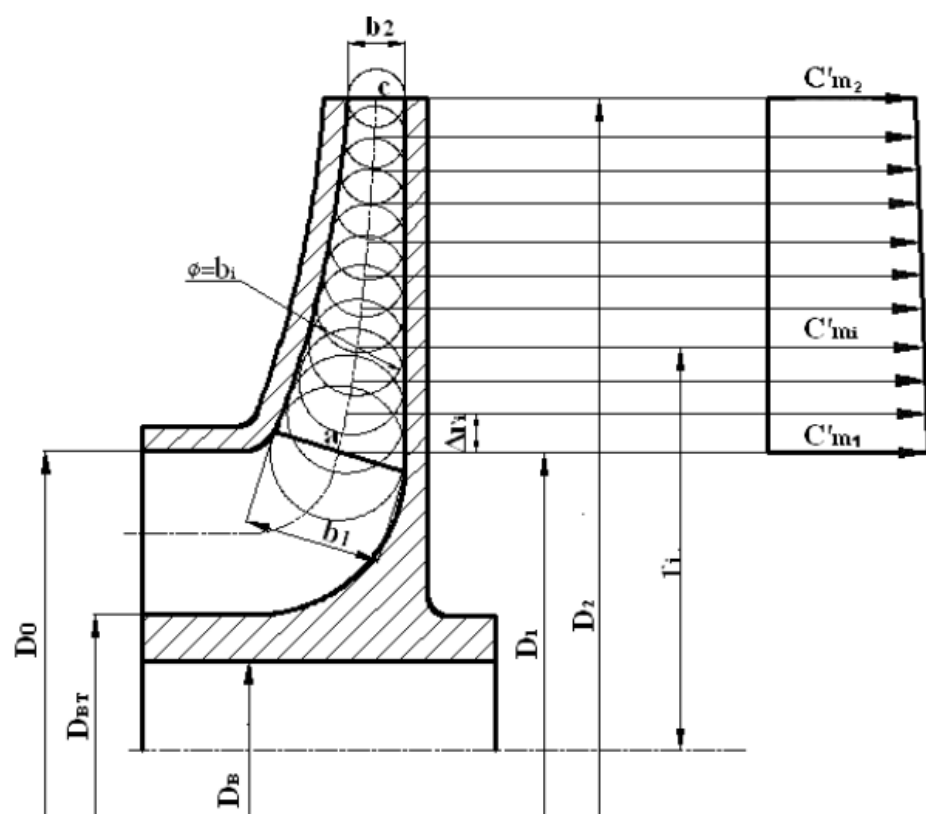


Рисунок 2 – Сечение раб. колеса (меридианное)

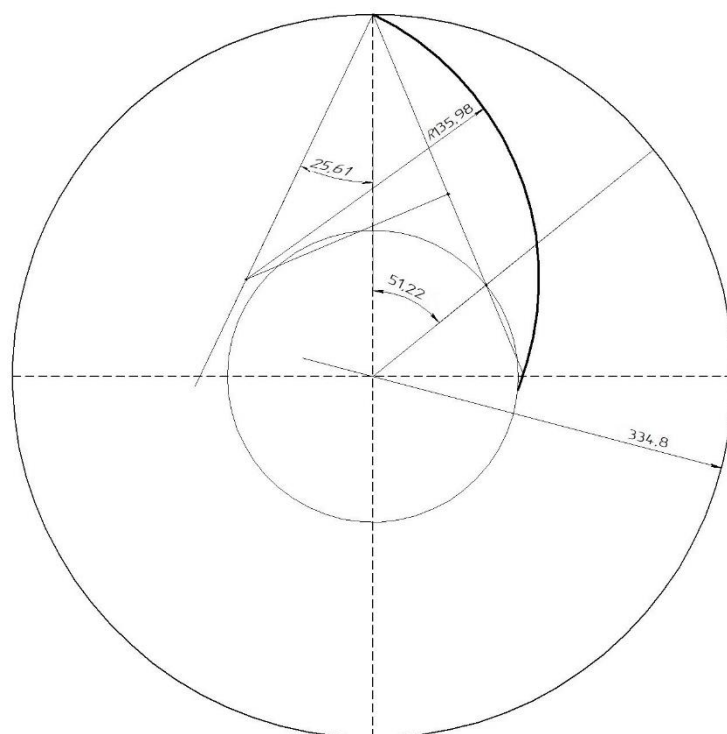


Рисунок 3 – Усредненная линия сечения лопатки

3.2 Расчет скорости гидроабразивного износа межступенчатых уплотнений насоса.

В.Г. Островский и С.Н. Пещеренко еще в 2012 г осуществили опыт по данной тематике [12]. В нем они смогли вывести фундаментальную формулу расчета коэффициента изношенности уплотнительных элементов.

Изношенность уплотнение вызывает протечки через них и резкое уменьшение уровня напора насосной установки.

Опыт был проведен в таких условиях:

- тип насосного оборудования – центробежный;
- длительность опыта – 8 часов;
- концентрация твердых частичек в воде – 1%;

Зазор во время опыта был увеличен в 6 раз. Значение снижения уровня напора на нормированной подаче (граф. 1.) достигло ~30%. В аналогичной среде, однако при замене уплотнительных элементов на более износоустойчивые уменьшение уровня напора достигло всего 7%. Соответственно, протечки сквозь уплотнительные элементы – это преимущественный фактор, от которого зависит степень надежности насосного оборудования.

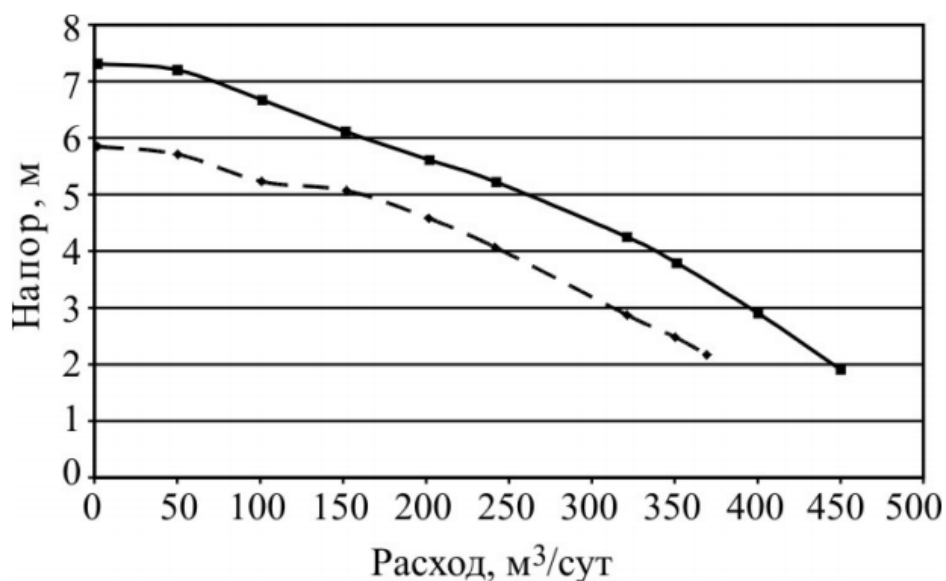


График 1 – Опыт по измерению напорно-расходного параметра ступени насосной станции при изношенности уплотнителей:

- - - - - после эксперимента.

Определим размер (ширину) зазора в уплотнителе между вращающимся устройством и РК как s , а быстроту его износа (т.е. скорость уменьшения s) – ds/dt . Значение ds/dt устанавливается такими параметрами:

- физическими и механическими характеристиками абразивных частичек: твердость (H_s), диаметр (d), плотность (ρ), объемная концентрация (c);
- параметрами воды: плотности (ρ), вязкости кинематической (V), быстроты (w) движения относительно поверхностей уплотнителя между направляющим устройством и РК;
- размерами уплотнительных элементов: радиус зазора кольца (R), длина (L), ширина (S), твердость металлического сплава насосной станции (H_{Me}).

$$\frac{ds}{dt} = f(c, \rho_s, d_s, H_s; v, \rho, w; s, L, H_{Me}). \quad (1)$$

Руководствуясь аргументами функции (1) есть возможность составить такие безразмерные сочетания: sw/v , c , s/L , d_s/s , ρ/ρ_{Me} , H_{Me}/H_s . С учетом положений π - теоремы теории подобия из формулы (1) выходит такая зависимость, в которой функция F аргументов должна умножаться на скорость, чтобы правая и левая части имели одинаковую соразмерность:

$$\frac{ds}{dt} = uF\left(\frac{sw}{v}, c, \frac{s}{L}, \frac{d_s}{s}, \frac{\rho}{\rho_s}, \frac{H_{Me}}{H_s}\right) \quad (2)$$

Быстрота изношенности ds/dt *обязательно* должна быть пропорциональна той силе, которая переносится твердыми частичками за 1 ед. времени, т.е. энергетическому потоку или осуществлению кинетической энергии частички на ее быстроту (скорость). По этой причине можно сделать

предположение, что разложение F-функции в ряд Тейлора по аргументу должно начинаться исключительно с квадратичного члена. При разложении F-функции по аргументу, получается:

$$\frac{ds}{dt} = K \left(\frac{s}{L}, \frac{d_s}{s}, \frac{\rho}{\rho_s}, \frac{H_{Me}}{H_s} \right) \left(\frac{s^2 w^3}{v^2} \right). \quad (3)$$

С учетом примесей коэффициент K повышается скачкообразно в 10 раз, если $d_s > 3s/4$, т.к. частички начинают заклиниваться в зазоре.

Уплотнитель состоит из 2 стенок: стационарной поверхности направляющего устройства и подвижной с угловой скоростью ω поверхностью РК. Скорость (w) перемещения воды в уплотнительном элементе относительно стационарной поверхности направляющего устройства равняется сумме скоростных показателей осевого течения (c_T) и усредненной скорости вращения воды благодаря движению поверхности РК, которая примерно равна $\omega R/2$, то есть

$$w^2 = c_T^2 + \left(\frac{\omega R}{2} \right)^2, \quad (4)$$

где R является радиусом уплотнительного элемента.

Пусть p_1 - давление на входе в уплотнительный элемент, p_2 - на выходе, тогда

$$p_1 = \Delta p_{in} + \Delta p + \Delta p_{out} + p_2 \quad (5)$$

где Δp_{in} , Δp_{out} - потери давления вследствие сопротивлений на выходе и входе уплотнительного элемента, для кромок (прямоугольной формы) канала,

$$\Delta p_{in} = \lambda_{in} \rho c_m^2 / 2, \Delta p_{out} = \lambda_{out} \rho c_m^2 / 2; \lambda_{in} = 0.5; \lambda_{out} = 1.0$$

Δp - потери на трение

$$\Delta p = \lambda \frac{L}{d} \frac{\rho c_m^2}{2} = \frac{0.3164}{(c_m d / v)^{0.25}} \frac{L}{d} \frac{\rho c_m^2}{2}, \quad (6)$$

где d - гидравлический диаметр канала, $d = 4S/P$; S - площадь его сечения;

$$P - \text{периметр. } Y \text{ на } S = \pi[(R + s)^2 - R^2], P = 2\pi[(R + s) + R], \text{ т.е.}$$

$d=2s$, поэтому из (5) и (6) выходит следствие

$$p_1 - p_2 = \frac{\rho}{2} \left[\lambda_{in} + \lambda_{out} + \frac{0.3164}{\left(\frac{2scm}{v}\right)^{0.25}} \frac{L}{d} \right] c_m^2 = \rho g \Delta H, \quad (7)$$

где ΔH – уровень напора ступени, откуда с учетом (4) увидим неявную зависимость $w(s)$:

$$2g\Delta H = \left[1.5 + \frac{0.3164}{\left(2s\sqrt{w^2 - (\omega R/2)^2}/v\right)^{0.25}} \frac{L}{2s} \right] \left(w^2 - \left(\frac{\omega R}{2}\right)^2 \right). \quad (8)$$

Итак, степень изношенности уплотнительного элемента устанавливается дифференциальным уравнением

$$\frac{ds}{dt} = K \left(\frac{d_s}{s} \right) w^3(s) c, \quad (9)$$

$$K \left(\frac{d_s}{s} \right) = \begin{cases} K, & d_s \leq 3s/4 \\ 10K, & d_s > 3s/4 \end{cases}, \quad (10)$$

где $w(s)$ определяется в качестве решения уравнения (8).

Эмпирический анализ коэффициента K

Подбор K -коэффициента осуществлялся на базе тестирования ступеней насосной установки погружного типа в среде с абразивными частичками. В опыте были задействованы такие условия:

- ступень ЭЦН5А - 320;
- скорость (частота) вращения – $n=4500$ оборотов в минуту;
- подача воды – 500 куб. м/сут;
- уровень напора, формируемой 1 ступенью - $\Delta H = 10,52$ м;
- $c=10$ кг/м³, при этом твердые частички целиком из

кварцевого песка с заостренными гранями;

- радиус уплотнения - $R=0,0268$ м,
- длина уплотнения - $L=0,006$ м,
- $p_s=2200$ кг/м³;
- размер твердых частичек от 0,5 до 1,0 мм, по

гранулометрическому анализу большая часть частиц имеет размер

$d_s=0,6$ мм;

- изначальный размер зазора в уплотнении - $s_0=0,175$ мм;
- размер зазора после 2 часов испытаний - $s_2=0,7$ мм;
- размер зазора после 8 часов испытаний - $s_8=1,0$ мм.

Опытная зависимость габаритов зазора отражена на граф. 2. (линия сплошная). Зависимость расчетная – это линия, образованная штрихами.

На графике 3 отражена зависимости быстроты износа от габаритов зазора, скачкоподобная смена быстроты износа соответствует износу, при котором абразивные частички перестают застревать.

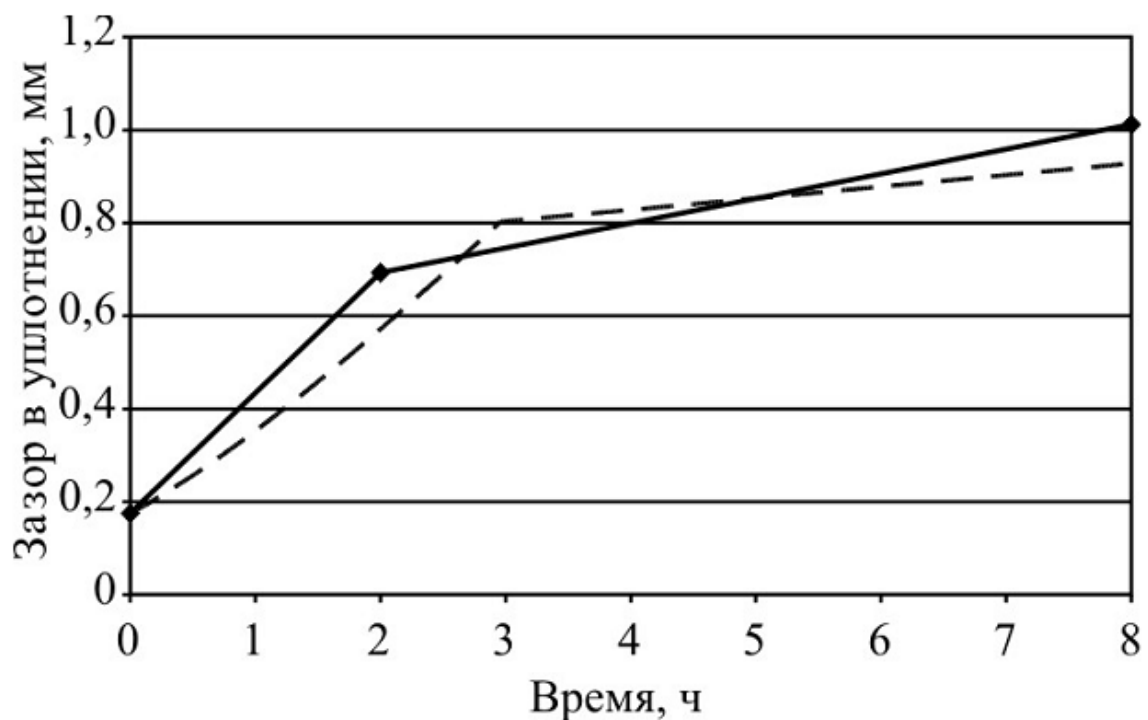


График 2 – Износ уплотнения ступени в процессе эксперимента:

— — — — — -экспериментальные данные
- - - - - -расчетные данные

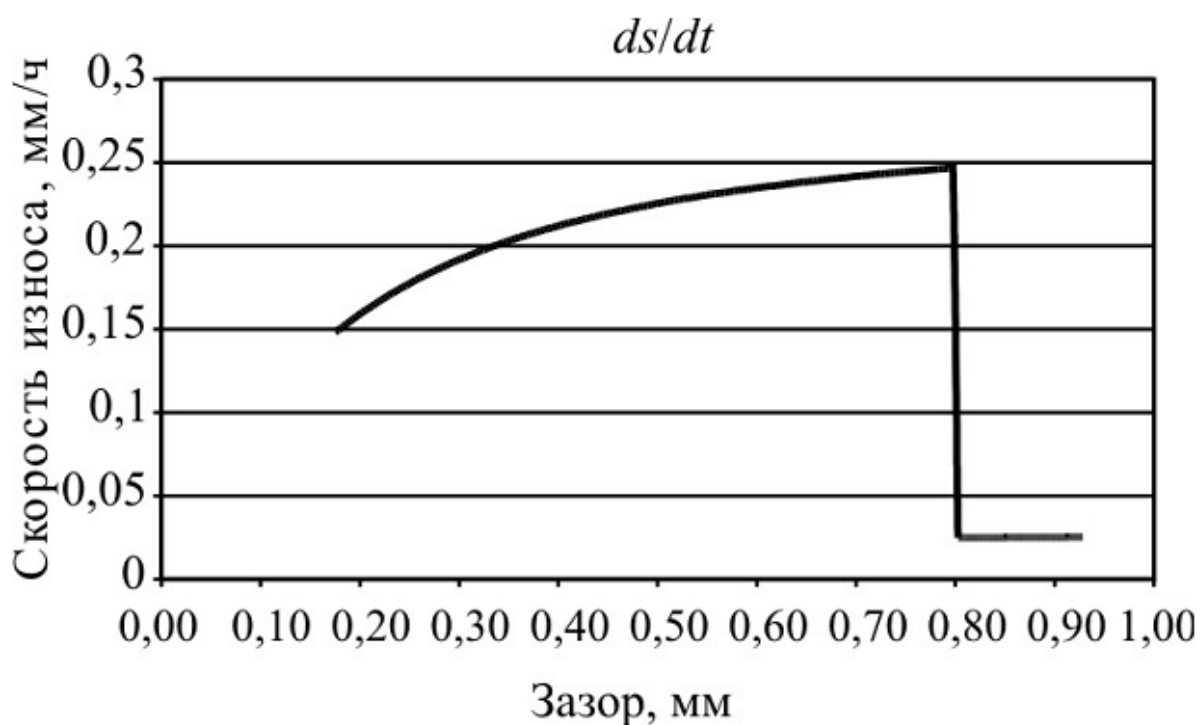


График 3 – Зависимость быстроты износа уплотнения от габаритов зазора.

Вывод

Данная методика подсчета скорости износа (гидроабразивного) дает возможность без осуществления многочисленных опытов и испытаний выполнить сравнение уровня надежности функционирования ЦНС в разных рабочих режимах, при функционировании на различных частотах и подачах. Этот метод особенно полезен в ходе проектирования новых ступеней, т.к. он позволяет сделать расчет оптимальных характеристик межступенчатых уплотнительных элементов, руководствуясь ожидаемыми характеристиками функционирования насосной установки.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В последние десятилетия основное количество научных разработок связано с инженерной, а не с фундаментальной сферой. Для инженерной разработки очень важным параметром является её коммерческая ценность, которая объединяет в себя множество факторов и позволяет инвесторам оценить перспективность разработки, не углубляясь в её суть. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научных исследований;
- определить возможные альтернативы проведению научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- спланировать научно-исследовательскую работу.

4.1. Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения проводится с помощью

оценочной карты для сравнения конкурентных технических решений, приведенной в таблице 2. В качестве конкурентов для проектируемого рабочего колеса ЦНС рассматриваются: проект компании «Технологические системы защитных покрытий» (конкурент 1) и проект компании ООО «Инко» (конкурент 2). [19]

В проекте компании «Технологические системы защитных покрытий» рассматривается защита от износа и кавитации рабочих колес твердосплавных покрытий. Твердосплавные покрытия из карбидов вольфрама и хрома успешно противостоят абразивным и химическим примесям в перекачиваемых нефтепродуктах, останавливают кавитацию, снижают энергопотребление. Энергоэффективность насоса повышается за счет сокращения обратных перетоков, равномерного и очень медленного износа поверхностей.

ООО «Инко» Эта компания занимается созданием рабочих колес, как по своим чертежам так и по индивидуальным требованиям заказчика, из различных материалов и под разные нужды.

Таблица 1 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкуренто-способность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,06	4	3	5	0,24	0,18	0,3
3. Энергоэффективность	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
4. Надежность	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
5. Безопасность	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4

Продолжение таблицы 1.

6. Простота эксплуатации	0,06	5	3	4	0,3	0,18	0,24
7. Ресурсоэкономичность	0,1	4	5	3	0,4	0,5	0,3
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
2. Уровень проникновения на рынок	0,03	1	3	4	0,03	0,09	0,12
3. Цена	0,1	3	4	3	0,3	0,4	0,3
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,2	5	3	4	1	0,6	0,8
Итого	1	44	41	42	4,27	3,75	3,76

Оценка конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$П_{ср} = \sum B_i \cdot Б_i, (12)$$

где $П_{ср}$ – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

$Б_i$ – средневзвешенное значение i -го показателя.

По результатам оценки можно выделить следующие конкурентные преимущества модернизации КНС: рост производительности труда (за счет увеличения межремонтного цикла), повышенная надежность, длительный срок эксплуатации.

4.2 SWOT

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. [19]

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проект.

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1: простота использования механизма</p> <p>С2: Квалифицированный персонал</p> <p>С3: Ремонтопригодность</p> <p>С4: Более длительный безремонтный срок эксплуатации</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1: Высокая стоимость механизма</p> <p>Сл2: низкий уровень надежности работы</p> <p>Сл3: небольшая долговечность</p> <p>Сл4: Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Повышение стоимости конкурентных разработок</p> <p>В2: Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3: Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы</p>	<p>Из-за простоты механизма и ремонтпригодности разработка может завоевать место на рынке.</p>	<p>Из-за сложных условий эксплуатации оборудование нуждается в частом ремонте или дорогостоящих деталях</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1: Отсутствие спроса</p> <p>У2: Снижение</p>	<p>Угрозы связаны с большим количеством конкурентов на рынке</p>	<p>Угроза отсутствия спроса обусловлена ценой материалов,</p>

бюджета на разработку У3: Развитая конкуренция технологий производства У4 Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции		используемых при производстве деталей. Необходимо рассмотреть возможность снижения цены за счет сотрудничества с производителями.
---	--	--

4.3 Планирование управления проектом

4.3.1 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта. [19]

Линейный график представлен в виде таблицы (табл. 2).

Таблица 2– Календарный план проекта

Название	Состав участников	Количество рабочих дней, дни			Кол-во календарных дней, дни		
		проект	Конкурс 1	Конкурс 2	проект	Конкурс 1	Конкурс 1
Разработка конструкторской документации	Инженер-проектировщик	35	38	40	52	56	59
изготовление	Инженер-конструктор	30	27	35	44	40	52
Испытание	Инженер-испытатель	60	65	66	89	96	98
Доработка	Инженер-конструктор	30	35	38	44	52	56

Продолжение таблицы 2.

Экспертиза готового проекта	Инженер- испытатель Заказчик	10	13	12	15	19	17
Внедрение на рынки	Менеджер	5	10	7	7	15	10
Ввод в экспл.	Рабочие						
Итого:		170	188	198	251	278	292

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (5)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (6)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Для примера приведем расчет для этапа разработки конструкторской документации для одного из вариантов работ.

$$K_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 98 - 20} = 1,48$$

$$T_{ki} = 35 \cdot 1,48 = 51,8$$

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ в табл. 3. Для удобства возьмем разбивку по 30 дней.

Таблица 3 – Календарный план–график

Вид работ	исполнители	Тк, календарные дни			Продолжительность работ									
		Исп1	Исп2	Исп3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Разработка конструкторской документации	Инженер-проектировщик	52	56	59										
														
изготовление	Инженер-конструктор	44	40	52										
Испытание	Инженер-испытатель	89	96	98										
Доработка	Инженер-конструктор	44	52	56										
Экспертиза готового проекта	Инженер-испытатель Заказчик	15	19	17										
Внедрение на рынки	Менеджер	7	15	10										
Ввод в экспл.	Рабочие													

4.3.2 Бюджет проекта

Расчет стоимости материальных затрат производится по среднерыночным ценам. [19]

Результаты по данной статье указаны в табл.4.

Таблица 4 –Расчет материальных затрат

Наименование	Ед.изм.	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, тыс.руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
металл	кг.	200	20	200	281	500	150	56,2	10	31,2

Продолжение таблицы 4.

Электричество на собственные нужды	кВт	320	320	320	5	5	5	1,6	1,6	1,6
Итого								57,8	11,6	32,8

4.3.3 Специальное оборудование для проектных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме (табл. 5). Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. [19]

Таблица 5 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для проекта»

Наименование	Ед.изм.	Количество			Цена за ед., руб			Затраты на оборудование т.руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Литье в кокиль	шт	1	0	4	100000			100	0	400
Газопламенное напыление	шт	0	3	0	150000			0	450	0
Шлифовальный станок	шт	1	0	2	50000			50	0	100
Токарный станок	шт	1	0	3	1000000			1000	0	3000
Итого								1150	450	3500

4.3.4 Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников и других рабочих. Основная заработная плата берется средней по Томской области из источников сети интернет. [19]

Таблица 6 – Основной заработной платы.

Исполнители	Основная заработная плата, руб.
Инженер-проектировщик	54000
Инженер-конструктор	103500
Инженер-испытатель	53456
Менеджер	45000
Рабочие	77400

4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot З_{осн}, \quad (5)$$

где $k_{внеб} = 30\%$ коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). [19]

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представлять в табличной форме (табл. 7).

Таблица 7 – Отчисления на социальные нужды

Исполнители	Основная заработная плата	Отчисления на социальные нужды
Инженер-проектировщик	54000	16200
Инженер-конструктор	103500	31050
Инженер-испытатель	53456	16036,8
Менеджер	45000	13500
Рабочие	77400	23220
Итого	333356	100006,8

4.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (6)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. [19]

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Определение бюджета затрат на научно–исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 8.

Таблица 8 – Расчет бюджета затрат на проект

Наименование статьи	Сумма, тыс.руб		
	проект	Исп. 1	Исп. 2
1. Материальные затраты на проект	57,8	11,6	32,8
2. Затраты на специальное оборудование для проекта	1150	450	3500
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	333.356		
4. Отчисления во внебюджетные фонды	100.0068		
5. Накладные расходы	262,58	149,19	634,58
6. Бюджет затрат проекта	1903,74	1044,15	4600,74

Вывод: Как видно из таблицы 31 основные затраты проекта приходятся на оплату труда исполнителей и на необходимое оборудование.

4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности проекта. Его нахождение

связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. [19]

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат двух вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносится финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Исходные данные берутся из таблицы 8 пункт 6.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} = \frac{1903,74}{4600,74} = 0,41, \quad (8)$$

$$I_{\Phi}^{a1} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} = \frac{1044,15}{4600,74} = 0,23, \quad (9)$$

$$I_{\Phi}^{a2} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} = \frac{4600,74}{4600,74} = 1, \quad (10)$$

где I_{Φ}^p – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{pi} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разы.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i^a, \quad (11)$$

$$I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i^p, \quad (12)$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов; a_i – весовой коэффициент i -го параметра; b_i^a , b_i^p – балльная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров

сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в табл. 9.

Таблица 9 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп. 1	Исп. 2
1. надежность	0,15	5	3	4
2. ремонтпригодность	0,20	5	3	4
3. Безопасность	0,25	4	4	4
4. Простота эксплуатации	0,15	5	3	4
5. Ресурсоэкономичность	0,15	4	5	3
6. Энергоэффективность	0,1	4	5	4
ИТОГО	1	4,5	3,75	3,85

$$I_m^p = 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,20 + 4 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 = 4,5, \quad (13)$$

$$I_1^A = 3 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,20 + 4 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,1 = 3,75, \quad (14)$$

$$I_2^A = 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,20 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 = 3,85, \quad (15)$$

Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{\text{финр}}^p$) и **аналога** ($I_{\text{финр}}^a$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{ф}}^p} = \frac{4,5}{0,41} = 10,97, \quad (16)$$

$$I_{\text{финр}}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{\text{ф}}^{a1}} = \frac{3,75}{0,23} = 16,3, \quad (17)$$

$$I_{\text{финр}}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_{\text{ф}}^{a2}} = \frac{3,85}{1} = 3,85, \quad (18)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта (табл. 40).

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^{\text{р}}}{I_{\text{финр}}^{\text{а1}}} = \frac{10,97}{16,3} = 0,67, \quad (19)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^{\text{р}}}{I_{\text{финр}}^{\text{а2}}} = \frac{10,97}{3,85} = 2,84, \quad (20)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^{\text{р}}}{I_{\text{финр}}^{\text{р}}} = \frac{10,97}{10,97} = 1 \quad (21)$$

где $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ – сравнительная эффективность проекта; $I_{\text{мэ}}^{\text{р}}$ – интегральный показатель разработки; $I_{\text{мэ}}^{\text{а}}$ – интегральный технико–экономический показатель аналога.

Таблица 10 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	проект	Исп. 1	Исп. 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,41	0,23	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	3,75	3,85
3	Интегральный показатель эффективности	10,97	16,3	3,85
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,67	2,84з

Вывод: Показатель ресурсоэффективности проекта имеет высокое значение, что говорит об эффективности использовании технического проекта. Таким образом применение поршневого компрессора остается эффективным и сохраняет конкурентоспособность

4.5 Заключение по разделу

В ходе выполнения данной работы были рассмотрены следующие вопросы:

- составление календарного плана проект, на основании которого была построена диаграмма Ганта;
- определение бюджета проекта. При использовании проекта

потребуется 1903740 руб. – это средний показатель среди трех рассмотренных вариантов;

– определение ресурсной (ресурсоберегающей), финансовой эффективности исследования. У исполнения 1 наилучшие показатели.

Разница среди затрат на бюджет проекта трех исполнений большая. Наименьшая сумма – 1044150 руб., а наибольшая – 4600740 руб. Учитывая показатели ресурсной (ресурсоберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности, целесообразно для проведения исследования будет выбрать исполнение 1.

5. Социальная ответственность

Рассмотрены вопросы охраны труда, недр и окружающей среды, были выявлены опасные и вредные производственные факторы, выявлена экологическая безопасность, описаны средства применяемой индивидуальной и коллективной защиты, действия при возникновении чрезвычайных ситуаций, и также правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Целью данного раздела является создание оптимальных норм для обеспечения производственной безопасности человека, повышения его производительности, сохранения работоспособности в процессе деятельности, а также охраны окружающей среды.

5.2 Производственная безопасность

В процессе добычи нефти и воды и эксплуатации ЦНС формируются опасные и вредные факторы. Рассмотрим основные элементы производственного процесса, которые могут формировать данные факторы (Таблица 1), для идентификации потенциальных факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 [1]:

Таблица 11 – Элементы производственного процесса, формирующие вредные и опасные факторы при добыче воды и эксплуатации ЦНС.

Наименование работ	Факторы по ГОСТ 12.0.003-2015		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Процесс добычи воды и эксплуатация ЦНС.	Физические факторы: 1. Превышение уровня шума и вибрации при работе; 2. Воздействие климатических условий;	Физические факторы: 1. Преждевременное разрушение рабочих конструкций, вследствие влияния внешнего воздействия, коррозии, низких	1. СНиП 41-01-2013 [2]; 2. ГОСТ 12.1.003–2014[3], ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ [4];

Продолжение таблицы 11.

	<p>3. Неблагоприятные метеорологические условия;</p> <p>Химические факторы:</p> <p>4. Загрязнение воздушной среды;</p>	<p>температур;</p> <p>2. Высокие давления, большие массы горючих жидкостей, агрессивные и токсичные вещества;</p> <p>3. Взрывоопасность;</p> <p>4. Пожароопасность;</p> <p>5. Поражение электрическим током.</p>	<p>3. СП 52.13330.2011, СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 [5];</p> <p>4. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ [6], ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ [7].</p> <p>5. ГОСТ 12. 1. 007 – 76 [8], ГОСТ 17. 2. 1. 03-84 [9].</p>
--	---	--	---

5.1. Анализ производственных факторов

5.1.1. Анализ вредных производственных факторов

Рассмотрим выявленные вредные производственные факторы, которые потенциально могут воздействовать на организм человека при добыче нефти и воды и эксплуатации ЦНС.

Отклонение показателей микроклимата

Метеорологические условия для рабочей зоны производственных помещений (пространство высотой до 2 м над уровнем пола) регламентируется ГОСТ 12.1.005-88[7] "Воздух рабочей зоны". Этот ГОСТ устанавливает оптимальные и допустимые микроклиматические условия в зависимости от характера производственных помещений, времени года и категории выполняемой работы.

Времена года разделяют на два периода: холодный и переходный, когда среднесуточная температура наружного воздуха ниже +10°C, и тёплый, когда среднесуточная температура наружного воздуха не ниже +10°C.

Работу на нефтегазодобывающих предприятиях часто ведут на открытом воздухе.

Метеорологические условия подвержены сезонным и суточным колебаниям, они могут явиться причиной несчастных случаев. При низкой температуре воздуха уменьшается подвижность конечностей вследствие интенсивной теплоотдачи организма, длительное и интенсивное воздействие холода может вызвать ряд изменений важнейших физиологических процессов, влияющих на работоспособность и здоровье работающих.

Необходимо соблюдать следующие правила в обязательном порядке:

1. Допуск к работам производится при наличии у работников СИЗ, которые соответствуют климатическим условиям
2. В летнее время года работники должны быть обеспечены СИЗ от гнуса и клеща.
3. При температуре наружного воздуха ниже минус 25 °С работающих на открытом воздухе ежечасно обеспечивать обогревом в помещении
4. В зимнее время, независимо от состояния погоды, выход людей за пределы жилой или производственной зоны допустим только группой лиц в составе не менее двух человек.

К средствам индивидуальной защиты работающих на объекте относятся различные приспособления и спецодежда, предназначенные для защиты работающего от вредных метеорологических факторов: спецодежда, спецобувь, головные уборы, рукавицы, перчатки, приспособления для защиты органов дыхания.

Вредное воздействие шума и вибраций.

Гигиенические исследования позволяют установить, что шум и вибрации ухудшают условия труда, оказывая вредное воздействие на организм человека. При длительном воздействии шума на организм человека происходят нежелательные явления: снижается острота зрения, слуха, повышается кровяное давление, понижается внимание. Сильный продолжительный шум может быть причиной функциональных изменений сердечно-сосудистой и нервной систем.

Источниками производственного шума могут быть электродвигатели, дымососы и вентиляционные установки, дробилки, шаровые мельницы систем пылеприготовления, трансформаторы, станки, ручные и электромашины, транспортные средства и многое другое.

Вибрации также неблагоприятно воздействуют на организм человека, они могут быть причиной функциональных расстройств нервной и сердечно-сосудистой систем, а также опорно-двигательного аппарата. При этом заболевание сопровождается головными болями, головокружением, онемением рук (при передаче вибрации на руки), повышенной утомляемостью. Длительное воздействие вибраций приводит к развитию, так называемой, виброболезни, успешное лечение которой возможно только на ранней стадии её развития.

Для снижения уровня шума предусматриваются следующие меры:

- звукоизоляция ограждающих конструкций: уплотнение по периметру притворов окон, ворот, дверей, звукоизоляция мест пересечения ограждающих конструкций инженерными коммуникациями;

- устройство звукоизолированных кабин наблюдения и дистанционного управления, укрытия, кожухи;

- звукопоглощающие конструкции и экраны;

- глушители шума, звукопоглощающие облицовки в газо-воздушных трактах вентиляционных систем с механическим побуждением и систем кондиционирования воздуха, а также газодинамических установок.

Одним из эффективных средств защиты от вибрации рабочих мест, оборудования и строительных конструкций является виброизоляция, представляющая собой упругие элементы, размещённые между вибрирующей машиной и основанием. В качестве индивидуальной защиты от вибраций, передаваемых человеку через ноги, рекомендуется носить обувь на войлочной или толстой резиновой подошве. Для защиты рук рекомендуется виброгасящие перчатки.

5.1.2. Анализ опасных производственных факторов

Рассмотрим выявленные опасные производственные факторы, которые потенциально могут воздействовать на организм человека при добыче воды и эксплуатации ЦНС.

Поражение электрическим током

Нефтеперекачивающая станция относится к энергоёмким объектам. Основным потребителем энергии являются электродвигатели насосов. Из-за этого возникает опасность воздействия электрического тока напряжением до 6000 кВ при эксплуатации и ремонте оборудования из-за ошибочных действий персонала, что может привести не только к поражению электрическим током, но и стать причиной возгорания и взрыва. Защитное заземление, защитное зануление и защитное отключение применяется для защиты персонала от поражения электрическим током.

Чтобы исключить поражение электрическим током при проведении работ на агрегатах требуется выполнить ряд подготовительных мероприятий по обеспечению безопасности:

- произвести необходимые отключения и принять меры, препятствующие подаче напряжения к месту работы вследствие ошибочного или самопроизвольного включения аппаратуры;
- установить ограждения, вывесить запрещающие плакаты;
- проверить заземление на токоведущих частях.

Воздействие статического электричества может быть опасно для человека, так как во время действия разряда возможны испуг, рефлексорные движения, из-за которых человек может попасть в опасную зону насосного силового агрегата или другого оборудования, упасть с высоты.

Способы защиты от статического электричества:

- предотвращение накопления заряда на токопроводящих частях оборудования, осуществляется устройством заземлений.
- снижение интенсивности накопления заряда. Происходит путём уменьшения скорости движения нефти по трубопроводам и наливом в ёмкости без разбрызгивания.

Пожарная безопасность

При эксплуатации на предприятиях нефтяной, газовой, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, где много взрывоопасных помещений, площадок и других объектов, требуется обеспечение полной пожаровзрывобезопасности.

Как известно, многие технологические процессы на предприятиях нефтяной промышленности сопровождаются высокими давлениями и температурами (подготовка нефти, бескомпрессорный способ добычи, тепловое воздействие на пласт и др.). Для того чтобы правильно оценить пожаро- и взрывоопасность различных веществ и материалов в условиях эксплуатации электроустановок, надо знать их пожароопасные свойства. При выборе взрывозащищенного электрооборудования необходимо учитывать такие показатели пожаровзрывоопасности, как: группу горючести газопаровоздушной смеси и ее категорию в зависимости от безопасного экспериментального максимального зазора (БЭМЗ), температуру вспышки, температуру воспламенения, температуру предела воспламенения, нижний и верхний пределы воспламенения (ГОСТ 12.1.017-80). Пожарную безопасность регламентирует ГОСТ 12.1.033-81, ГОСТ 12.1.004-85 [10].

В качестве огнегасительных средств на промыслах используется: вода, песок, инертные газы, пены, порошки. Наиболее широкое применение получили огнетушители типа ОХП - 10, ОП-М, ОВП-5, ОВП-10. В обеспечении пожарной безопасности значительное место занимает автоматизация взрыво- и пожароопасных технологических процессов, внедрение комплекса мероприятий по противопожарной и противовзрывной защите, в частности оснащение технологических установок добычи нефти и газа современными приборами автоматического контроля, управления, защиты, блокировки и регулирования; установление средств автоматического пожаротушения в технологических аппаратах на объектах добычи нефти и газа и в производственных помещениях; автоматическое отключение поврежденных во время пожара аппаратов и трубопроводов.

5.2. Экологическая безопасность

Воздействие на атмосферу

Нефтеперекачивающая станция считается источником загрязнения атмосферы. Главными источниками выделения вредных веществ считаются неплотности фланцевых соединений, через которые возможна утечка углеводородов и клапаны ёмкостей.

Для уменьшения выделений сквозь неплотности необходимо их герметизировать.

Воздействие на гидросферу и литосферу

Источниками загрязнения почвы нефтью на нефтеперекачивающих станциях магистральных нефтепроводов являются сварных стыков, неплотности запорной арматуры, муфтовых и фланцевых соединений; продукты зачистки резервуаров; утечки вследствие коррозионных повреждений резервуаров. Замена отработавших материалов и узлов приводит к образованию твердых отходов производства (металлолом, фторопласт и прочий бытовой мусор). Для утилизации бытовых отходов используются полигоны твердых бытовых отходов. Люди, работающие с нефтепродуктами, обязаны быть обучены безопасности труда в соответствии с ГОСТ 12.0.004-90.

В целях предупреждения загрязнения атмосферы, гидросферы и литосферы предусматривается:

- сокращение потерь нефти. Герметизация системы транспорта нефти;
- отсутствие открытого налива и слива нефтепродуктов;
- компактность нефтеперекачивающей станции. Уменьшается используемая площадь почвы, уменьшается количество соединений;
- защита от коррозии оборудования и трубопроводов;
- защитное отключение насосных агрегатов;
- для ликвидации масштабного разлива нефти используют природные и искусственные сорбенты.

При работе с отработанными нефтепродуктами, которые являются легковоспламеняющимися и ядовитыми веществами, необходимо применять индивидуальные средства защиты по типовым отраслевым нормам. Рекомендуются установка герметичного налива и слива, системы автоматизации процессов сливно-наливных операций, стационарные шланговые устройства, для предотвращения загрязнения окружающей среды нефтепродуктами, уменьшения пожарной опасности и улучшения условий труда.

Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране подземных вод

При осуществлении хозяйственной деятельности должно быть исключено попадание загрязняющих веществ в подземные воды из источников их загрязнения.

При организации и устройстве аккумулирующих емкостей для хранения сырья, продуктов и отходов промышленного производства и коммунального хозяйства на участках возможного загрязнения подземных вод:

- необходимо обеспечить водонепроницаемость аккумулирующих емкостей;

- мероприятия по охране вод от загрязнений должны быть основаны на данных инженерно-геологических изысканий, фильтрационных расчетах и прогнозах миграции загрязняющих веществ в подземных водах с учетом особенностей загрязняющих веществ;

- не допускается сооружение аккумулирующих емкостей в зонах питания подземных вод в начале делювиальных или пролювиальных конусов выноса или шлейфов, на нижних речных террасах, сильнотрещиноватых участках, особенно если подземные воды в этих отложениях используются для питьевого водоснабжения.

При орошении сточными водами режим полива должен обеспечивать минимальную инфильтрацию в зависимости от условий возделывания сельскохозяйственных культур. В необходимых случаях для увеличения мощности зоны аэрации поливных площадей необходимо снизить грунтовые воды до уровня, предусмотренного специальными расчетами.

При проведении геологоразведочных работ, эксплуатации месторождений полезных ископаемых, разрабатываемых открытыми горными выработками, и других работах, при которых вскрываются водоносные горизонты, необходимо принять меры по предотвращению загрязнения и истощения подземных вод.

При авариях и повреждениях, которые могут вызвать загрязнение подземных вод, необходимо оградить место аварии и обеспечить его охрану, покрыть адсорбционными материалами разлитые или рассыпанные вещества, прекратить отбор подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения в зоне аварии, собрать, нейтрализовать или уничтожить разлитые, или рассыпанные вещества и ликвидировать последствия аварии и повреждения.

При загрязнении или опасности загрязнения подземных вод объем и способ наблюдений за их режимом, или качеством определяется в зависимости от значения и вида их использования, а также с учетом возможных последствий их загрязнения.

5.3. Безопасность в ЧС

Наиболее вероятной аварией при работе с легковоспламеняющимися жидкостями являются взрывы и, соответственно, пожары.

При произошедшей чрезвычайной ситуации любого характера необходимо, в первую очередь, при получении информации, остановить производственные процессы и принять меры по отключению электроснабжения аварийного участка и отключению всего оборудования, используемого при работах.

Выполнение работ производится при помощи специальных инструментов, технических средств и материалов.

Во время выполнения работ территорию необходимо обозначить сигнальными знаками (красными флажками, лентами, плакатами), а также освободить от посторонних предметов, которые будут препятствовать перемещению оборудования и персонала.

На руководителя работ возлагается ответственность по обеспечению средствами пожаротушения (огнетушителем, ящиком с песком и лопатой, ведром с водой) и средствами индивидуальной защиты, а также по назначению ответственного за непрерывный контроль параметров газовой среды.

При возникновении неисправности оборудования, рабочего инвентаря и инструмента, работник должен немедленно прекратить работу и сообщить руководителю работ. При несчастном случае необходимо немедленно освободить пострадавшего от воздействия травмирующего фактора, оказать ему первую медицинскую помощь и сообщить о несчастном случае руководителю работ. Все работы, связанные с взрывоопасными и взрывопожароопасными объектами, проводятся в дневное время, исключением являются только аварийные ситуации.

5.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Общие требования по охране труда

Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Работники нефтегазодобывающих организаций, привлекаемые к труду на объектах вахтовым методом, проживают в специально создаваемых работодателем вахтовых поселках, представляющих собой комплекс зданий и сооружений, предназначенных для обеспечения их жизнедеятельности во время выполнения ими трудовой функции, а также междусменного отдыха, или в приспособленных для этих целей и оплачиваемых за счёт работодателя общежитиях либо в иных жилых помещениях.

Оплата труда работников, занятых на тяжелых работах, работах с вредными и (или) опасными условиями труда устанавливается в повышенном размере в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Для работников, условия труда на рабочих местах которых по результатам специальной оценки условий труда отнесены к вредным условиям труда 3 или 4 степени или опасным условиям труда, устанавливается сокращенная продолжительность рабочего времени – не более 36 часов в неделю.

Максимально допустимая продолжительность ежедневной работы (смены) для работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, где установлена сокращенная продолжительность рабочего времени, не может превышать при 36-часовой рабочей неделе – 8 часов.

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Оборудование должно быть установлено на прочных фундаментах (основаниях), выполненных в соответствии с проектом или требованиями инструкций по монтажу (эксплуатации) завода-изготовителя, обеспечивающих его нормальную работу.

Узлы, детали, приспособления и элементы оборудования, которые могут служить источником опасности для работающих, а также поверхности оградительных и защитных устройств должны быть окрашены в сигнальные цвета в соответствии с установленными требованиями и нормами.

На нагнетательном трубопроводе центробежных насосов и компрессоров должна предусматриваться установка обратного клапана или другого устройства для предотвращения перемещения транспортируемых веществ в обратном направлении и, при необходимости, предохранительного клапана.

Эксплуатируемые технические устройства должны соответствовать по классу климатическим условиям в местах дислокации опасных производственных объектов.

Температура наружных поверхностей оборудования и кожухов теплоизоляционных покрытий не должна превышать температуры самовоспламенения наиболее взрывопожароопасного продукта, а в местах, доступных для обслуживающего персонала, должна исключать возможность ожогов.

5.5. Вывод к разделу

Таким образом, технологический процесс эксплуатации центробежных секционных насосов является достаточно опасной операцией, где применяют множество различных технологий, которые требуют пристального внимания и соблюдения правил норм, регламентируемых нормативной документацией. Также стоит обращать внимание на соблюдение правил безопасности при работе с оборудованием, с материалами и, в целом, работе с объектом.

Для безопасности следует следить за состоянием оборудования, соблюдением правильного обеспечения средств индивидуальной защиты персонала, задействованного к работе. Персонал должен быть правильно экипирован и пройти инструктаж по правилу безопасности.

Соблюдение всех необходимых пунктов минимизирует шанс возникновения чрезвычайной ситуации до минимума.

Заключение

Актуальность этой тематики заключается в том, что насосные станции типа ЦНС очень актуальны в системах ППД, т.к. они очень просты в применении и обладают повышенной ремонтпригодностью.

В данной дипломной работе мы рассмотрели задачу спроектировать и рассчитать насосную установку ЦНС с повышенной концентрацией примесей.

Был осуществлен расчет наиболее значимых характеристик рабочего колеса и отражен способ расчета коэффициента износа уплотнений, который выражен эмпирической формулой.

Практическая ценность этой тематики состоит в том, что сокращение воздействия износа из-за высокой концентрации примесей даст возможность удешевить стадию фильтрации перекачиваемой жидкости.

Подводя итог, который касается задачи, сделан вывод о том, что вопросы, касающиеся усовершенствования, считаются дискуссионными и достаточно актуальными. Из-за быстрого роста и развития нефтегазовой промышленности и технологий, нацеленных на добычу нефти и газа, требуется разработка и интеграция в практическую плоскость методик и технологических решений, направленных на увеличение уровня эффективности насосных станций.

Список используемых источников:

1. ГОСТ 12.0.003-2015 «Система стандартов по безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»
2. СНиП 41-01-2013 «Строительные нормы и правила Российской Федерации. Отопление, вентиляция»
3. ГОСТ 12.1.003–2014 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие требования безопасности»
4. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ «Система стандартов безопасности труда. Средства и методы защиты от шума.»
5. СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция»
6. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий" (с изменениями на 15 марта 2010 года)»
7. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»
8. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ «Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности»
9. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление
10. ГОСТ 12.1.010–76 ССБТ «ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования
11. ГОСТ 17. 2. 1. 03-84 «Охрана природы. Атмосфера. Термины и определения контроля загрязнения
12. Островский В.Г., Пещеренко С.Н. Расчет скорости гидроабразивного износа межступенчатых уплотнений. –П: Вестник ПНИПУ, 2012.
13. Шаломов В.И. Гидравлический расчет рабочего колеса центробежного насоса. –КнА: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2015.

14. Трясцин Р.А., Панова И.В. Центробежные насосы типа ЦНС Часть 1. –Т: ТюмГНГУ, 2015.
15. ГОСТ 10407-88. Насосы центробежные многоступенчатые секционные. Типы и основные параметры.
16. Фарамазов С.А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов. Москва, «Химия», 1988.
17. Кузьмин С.А., Мельников Д.И. Насосный агрегат для нефтепродуктообеспечения // Нефтяное хозяйство. 2003. -№ 2
18. Указания по применению насосов типа ЦНС (МС) в системах промышленного сбора, подготовки и транспорта нефти. Уфа: ВНИИСПТнефть, 1984.
19. Г.Ю. Боярко, О.В. Пожарницкая, В.Б. Романюк и др. Методические указания для выполнения раздела выпускной квалификационной работы «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»: методические указания. Томский политехнический университет. Томск, 2017. – 166 с.